

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT VYSOKÉHO ČASOVÉHO
ROZLIŠENÍ VE VÝZKUMU DYNAMIKY ZMĚN
VEGETAČNÍHO POKRYVU**

**MONITORING LAND COVER CHANGES USING SATELLITE
HIGH TEMPORAL RESOLUTION DATA**

Bakalářská práce

Magdalena Indrová

květen 2010

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, PhD.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovateli.

V Praze dne 20. května 2010

.....

Magdalena Indrová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za věnovaný čas, odborné rady a připomínky. Dále děkuji rodině za podporu v průběhu celého studia.

Využití družicových dat vysokého časového rozlišení ve výzkumu dynamiky změn vegetačního pokryvu

Abstrakt

Cílem práce je vytvoření báze spektrálních vlastností sledovaných vegetačních forem a vytvoření klasifikace krajinného pokryvu. Práce probíhala se snímky MERIS, získanými na KAGIK. Bylo vybráno deset kategorií krajinného pokryvu, u kterých bylo v programu BEAM za období duben – listopad 2009 určeno spektrální chování. U některých definovaných kategorií, jako jsou jehličnaté lesy či zástavba, se spektrální chování během roku neměnilo. Naopak, u zemědělských plodin byly pozorovány výrazné změny. Nejlépe se podařilo charakterizovat spektrální chování lesních porostů, ze zemědělských plodin pak řepky olejky. Nakonec byla vyzkoušena metoda „Spectral Unmixing“, která se používá u snímků, jejichž pixely reprezentují více než jeden druh krajinného pokryvu. U této metody byl nejkvalitnější výsledek také získán v kategorii lesních porostů. Z výsledků práce je patrné, že snímky MERIS mohou být k těmto účelům využity, avšak kvůli rozlišení 300 m x 300 m dovolují zkoumat jen rozsáhlá a homogenní území.

Klíčová slova: MERIS, BEAM, spektrální odrazivost, spektrální křivka, krajinný pokryv, Spectral Unmixing

Monitoring of land cover changes using satellite high temporal resolution data

Abstract

The objective of this work is to create a base of spectral characteristics of the monitored vegetation types and to create a classification of the land cover. In this work MERIS images obtained by KAGIK were used. Ten different categories of land cover were selected for the study. The spectral behaviour of all categories for the period April – November 2009 was determined. The spectral response of some defined categories (coniferous forests, developed areas) was stable during the year. Contrary to that, significant changes in the spectral response of agricultural crops were observed. The best results were obtained in the categories Forests and Oilseed rape. Finally, the method of Spectral Unmixing was also tested. This method is used when some pixels contain several cover types. Using this method the best result was also obtained in the category Forests. It is evident that the MERIS images can be used for monitoring land cover changes, but because of the coarse resolution only large and homogeneous areas can be studied.

Keywords: MERIS, BEAM, spectral reflectance, spectral curve, land cover, Spectral Unmixing

OBSAH

1 Úvod a cíle práce	6
1.1 Úvod	6
1.2 Cíle a hypotézy	6
2 Dálkový průzkum Země	7
2. 1 Základní definice DPZ	7
2. 2 Stručná historie	7
2. 3 Princip DPZ	8
2. 4 Elektromagnetické záření	8
2. 5 Elektromagnetické spektrum	10
3 Spektrální charakteristiky krajinného pokryvu	12
3.1 Spektrální odrazivost	12
3.2 Spektrální křivky vybraných povrchů	13
3.2.1 Vegetační povrch	13
3.2.2 Voda	17
3.2.3 Půda	19
4 Družicové systémy	20
4.1 Charakteristika pozorovacích satelitů	20
4.1.1 Rozlišení	20
4.1.2 Satelity s vysokým časovým rozlišením	22
4.2 Družice ENVISAT	22
4.2.1 Všeobecné informace	22
4.2.2 MERIS	23
4.2.3 AATSR	25
5 Literární rešerše	26
6 Metodika	31
6.1 Zajištění dat	31
6.2 Sledované oblasti	31
6.3 Úprava pořízených dat	32
6.4 Spektrální odrazivost	33
6.5 Metoda Spectral Unmixing	34
7 Výsledky	36
7.1 Rozlišení vybraných povrchů	36
7.2 Dynamika změn krajinného pokryvu	37
7.3 Spectral Unmixing	39
8 Diskuze a zhodnocení	41
8.1 Odpovědi na hypotézy	46
9 Závěr	47
Seznam zdrojů a informací	48
Seznam příloh	51
Přílohy	52

KAPITOLA 1

Úvod a cíle práce

1.1 Úvod

Hlavním úkolem v této práci bylo sledovat dynamiku ve změnách krajinného pokryvu za použití družicových dat vysokého časového rozlišení. Pro účely práce bylo vybráno několik území různých vegetačních typů, jako je orná půda, listnaté respektive jehličnaté lesy, louky a vodní plochy. Území s ornou půdou byla vybrána s důrazem na různé plodiny, které jsou zde pěstovány.

Důležitou součástí této práce je teoretická část v první polovině práce. Nejprve zde jsou rozebrány jak základní principy dálkového průzkumu Země tak i jeho využití v řešené tématice. Poté je vysvětleno několik základních pojmů, které s dálkovým průzkumem přímo souvisejí a jejichž znalost je zásadní pro pochopení dané problematiky. Další část práce je věnována spektrálním charakteristikám jednotlivých vegetačních povrchů. Zde jsou popsány spektrální křivky základních typů povrchu Země.

Jelikož data použitá pro tuto práci jsou tzv. vysokého časového rozlišení, je třetí kapitola věnována nejprve družicovým systémům a jejich výstupním datům. V následující části se čtenář dozví podrobnější informace o senzorech MERIS a AATSR, jejichž data jsou dostupná na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie (dále jen KAGIK). V navazující části je popsán samotný průběh práce s družicovými daty MERIS. Následují kapitoly rozebírající dosažené výsledky a dávají odpovědi na dané hypotézy.

1.2 Cíle a hypotézy

Cílem práce je vytvoření báze spektrálních vlastností sledovaných vegetačních forem a vytvoření klasifikace krajinného pokryvu. Obecnou vstupní hypotézou práce je tvrzení, že je možné pomocí analýzy snímků MERIS určit relativně přesně spektrální chování vybraných typů vegetačního povrchu. Při zpracovávání této práce bylo testováno několik dílčích hypotéz, které byly dosaženými výsledky potvrzeny nebo vyvráceny:

- Je možné odlišit listnaté lesy od jehličnatých
- Lze vymezit lesy smíšené
- Lze se spektrálních křivek vybraných povrchů přesně určit druh zemědělské plodiny
- Je možné rozpoznat čisté vodní plochy od eutrofizovaných
- Pomocí snímků MERIS lze provést přesnou klasifikaci krajinného pokryvu

KAPITOLA 2

Dálkový průzkum Země

2.1 Základní definice DPZ

Anglický termín „remote sensing“, který se do češtiny překládá názvem „dálkový průzkum Země“, byl poprvé zaveden v padesátých letech minulého století. Za jeho zavedením stojí anglická geografa a oceánografa Evelyn Pruittová z U.S. Office of Naval Research. Použila ho jako náhradu za dříve používaný termín „letecká fotografie“, který již nepostihoval reálný stav používaných technologií. (<http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/>, Učební texty VŠB-TU Ostrava, 2006). Dálkový průzkum Země (dále DPZ) patří mezi dynamicky rozvíjející se geoinformační vědecké obory.

Princip DPZ lze charakterizovat několika následujícími definicemi:

„Dálkový průzkum je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jiných jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu“ (Lillesand, 2003).

Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí (<http://www.vugtk.cz/slovník>) pak nabízí definice dvě, a to:

- 1) získávání dat o zemském povrchu bezkontaktním způsobem, např. z letadla nebo z družice
- 2) sběr dat o území, realizovaný z kosmického (kosmický průzkum) nebo letadlového nosiče (letecký průzkum) a zpracování těchto dat k získání informací o poloze, stavu a druhu objektů a jevů zemského povrchu

Zjednodušeně lze tedy princip DPZ charakterizovat jako sběr informací a dat o Zemi, zemském povrchu či jiných objektech zájmu bez přímého kontaktu s nimi. (Kolář, 2009)

2.2 Stručná historie

Počátky DPZ možno datovat do 1. pol. 19. st., kdy v roce 1827 vznikla první fotografie. O 31 let později vzduchoplavec G. Tournachon pořídil první fotografii z balónu. Během první světové války docházelo k velkému rozvoji systematického leteckého snímkování pro vojenské účely. Pro civilní účely se letecké fotografie začaly využívat v padesátých letech. Druhá polovina 20. st. přinesla důležité období rozvoje družicových snímků. V roce 1958 byla vytvořena první fotografie zemského povrchu z družice Explorer VI. V roce 1960 pak byla vypuštěna první meteorologická družice TIROS I. Postupem času digitální obrazové záznamy

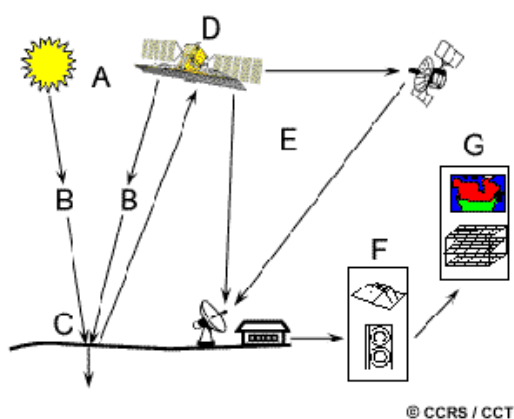
zcela nahrazují klasické fotografie a DPZ se stává nedílnou a pevnou součástí geoinformatiky (Augusta, Lysoněk, 2008).

Technologie DPZ v sobě skrývají široké aplikační spektrum. Jako příklad lze uvést např. zemědělství, kdy dálkový průzkum pomáhá určovat druhy rostlin i odhadnout zemědělskou produkci, či v lesnictví, kdy jsme schopni za pomoci této metody rozpoznat druh a zdravotní stav lesních porostů. Z dalších příkladů je to např. mapování, hydrologie, geologie, ekologie, meteorologie a mnoho dalších.

2.3 Princip DPZ

Každý systém dálkového průzkumu se skládá z několika složek (obr. č. 1). Prvním základním požadavkem je přítomnost zdroje energie, který poskytuje elektromagnetickou energii.(A). Zdroj záření vysílá elektromagnetické záření (B). Toto záření může být v závislosti na zdroji aktivní (využívá umělý zdroj záření) či pasivní (přírodní záření od Slunce).

obr. č. 1



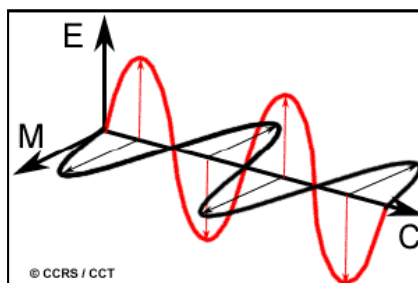
Zdroj: Canada Centre for Remote Sensing

Písmenem C je označen bod zájmu neboli zkoumaný objekt. Energie vyzařovaná nebo odražená od zkoumaného objektu je pak zaznamenána senzorem, umístěným na platformě (D). V DPZ se ke sběru dat používají přístroje umístěné na balónech, letadlech, umělých družicích či kosmických lodí. Následuje přenos zaznamenané energie na přijímací stanici, kde jsou data dále zpracovávána (E). Písmena F a G označují další interpretaci, analýzu a konečné zpracování dat, ať už vizuální, digitální či elektronické. Získané informace jsou pak nadále aplikovány a používány k objevování dalších, nových informací (<http://ccrs.nrcan.gc.ca>, 2007).

2.4 Elektromagnetické záření

V předchozí části této kapitoly byly popsány způsoby, jak dálkově získat potřebné informace o sledovaném objektu. Obrovskou výhodou DPZ je, že detekuje informace, které nelze získat lidskými smysly (např. zrakem). Aplikace DPZ umožňuje registrovat jevy, na které už lidské smysly nestačí, a které jsou již pro člověka nepostřehnutelné. Stejně jako lidské oko, i DPZ využívá elektromagnetického záření. Objekt je možné zkoumat jakýkoliv, jelikož každý předmět lze označit za zdroj elektromagnetického záření. (Kolář, 2009). Elektromagnetické záření je kombinace vlnění elektrického pole (E) a magnetického pole (M), které je na elektrické kolmé. Šíří se konstantní rychlostí (C), která je rovna rychlosti světla ve vakuu, tedy 299 792 458 metrů za sekundu.

obr. č. 2



Zdroj: Canada Centre for Remote Sensing

Základními pojmy, používanými v souvislosti elektromagnetického záření a tedy i DPZ jsou: *Perioda* – fyzikální veličina udávající dobu trvání jednoho opakování periodického děje. Je to doba, potřebná k tomu, aby se v našem případě vlna dostala na výchozí místo. Označuje se symbolem T.

Frekvence – fyzikální veličina udávající počet opakování periodického děje za jednotku času. Frekvence je převrácenou hodnotou periody. Obvykle se značí písmenem f (v) a její jednotka je Hz (Herz).

Vlnová délka – označuje délku jednoho vlnového cyklu. Značíme ji řeckým písmenem λ (lambda). Vlnová délka je měřena v metrech (m) nebo v jiných, od metru odvozených jednotkách. Nejčastěji používanými jsou nanometr (nm, 10^{-9} m), mikrometr (μm , 10^{-6} m) a centimetr (cm, 10^{-2} m).

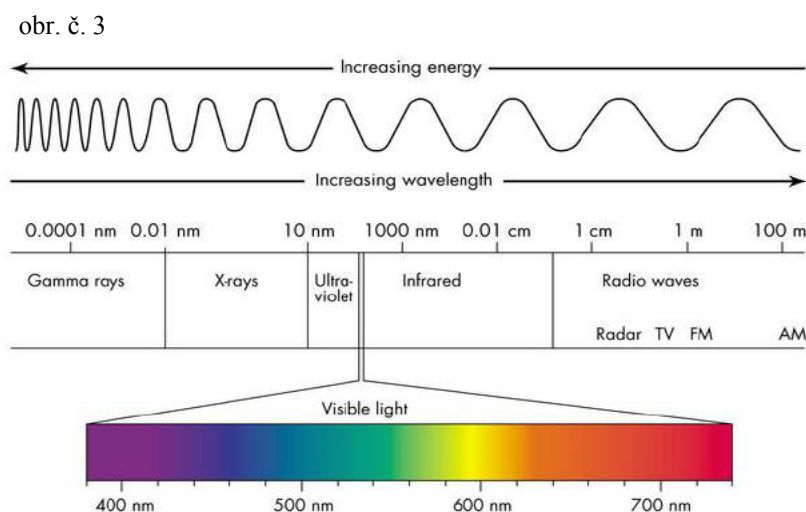
Vztah mezi všemi uvedenými pojmy uvádí následující vzorec

$$\lambda = c * T = \frac{c}{f} = \frac{c}{v} \quad , \text{ kde } c \text{ je rychlost světla ve vakuu.}$$

Z uvedených vzorců je patrné, že čím kratší vlnová délka, tím vyšší frekvence a naopak. Dále platí, že se vzrůstající energií a frekvencí klesá vlnová délka. (<http://ccrs.nrcan.gc.ca>, 2007; Kolář, 1990).

2.5 Elektromagnetické spektrum

Existují různé druhy elektromagnetického záření, lišící se vzájemně vlnovou délkou (viz obr. č. 3). Nejkratší vlnovou délkou, a tudíž největší frekvenci i energii mají krátké gama vlny. Za gama vlnami následují záření s delšími vlnovými délkami, například ultrafialové záření a viditelné světlo. Nejdelší vlnovou délkou a tudíž nejmenší frekvenci a energii má rádiové záření. Této řadě různých typů elektromagnetického vlnění se říká *elektromagnetické spektrum*. Je to rozdělení intenzity elektromagnetického záření mezi jednotlivé vlnové délky.



Zdroj: <http://www.antonine-education.co.uk>

V dálkovém průzkumu se využívají především vlnové délky ultrafialového (UV), viditelného (V), infračerveného (IR) a mikrovlnného záření (MW).

Ultrafialové neboli UV záření má nejkratší vlnovou délku využívanou v oboru DPZ ($0,1 \mu\text{m} - 0,4 \mu\text{m}$) a frekvenci $10^{15} - 10^{17}$ Hz. Některé povrchové materiály na Zemi, zvláště kameny a minerály světélkují nebo vyzařují viditelné světlo, právě když jsou ozářeny UV zářením. Ultrafialové záření, které se v DPZ využívá v podobě tzv. UV laseru, může také sloužit pro vyhledávání ložisek zlata nebo pro monitorování ropných skvrn. Pro živé organismy je ale toto záření škodlivé.

Viditelné světlo je jediné záření, které je schopno lidské oko rozeznat. Vzhledem k celé šíři spektra je rozsah viditelného světla velmi malý, pouze od $0,38 \mu\text{m}$ do $0,72 \mu\text{m}$. Frekvence tohoto záření se pohybuje mezi $3,9 \times 10^{14}$ Hz až $7,9 \times 10^{14}$ Hz. Z historického důvodu je tato část spektra nejvyužívanější, v jeho oblasti pracuje většina družicových systémů.

Lidské oko vnímá různé frekvence světla jako určité barvy, od fialového světla s nejkratší vlnovou délkou a největší frekvencí, po červené světlo s nejdelší vlnovou délkou a nejmenší frekvencí. Za základní barvy viditelného světla se považují červená-red (R), zelená-green (G) a modrá-blue (B). Smícháním těchto barev je možné vytvořit kteroukoliv jinou, avšak žádná ze základních (primárních) barev nemůže být vytvořena smícháním ostatních. To je důvod, proč se barvy červená, zelená a modrá považují za základní. Tento barevný model je používán ve všech monitorech a projektorech. Smícháme-li stejnou měrou tyto tři základní barvy, dostaneme barvu bílou.

Další, pro dálkový průzkum významnou složkou spektra je *záření infračervené*. Toto záření pokrývá vlnové délky o rozsahu $0,72\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$. Je tedy více jak stokrát širší než záření viditelné. Toto záření se dále dělí na blízké (NIR) s vlnovými délkami $0,72\ \mu\text{m} - 1,3\ \mu\text{m}$. NIR se používá převážně pro studium vegetace, hlavně v lesnictví a zemědělství. Střední infračervené pásmo (SWIR) s vlnovými délkami $1,3\ \mu\text{m} - 4\ \mu\text{m}$ se využívá k rozpoznávání ledu a sněhu, k odlišení oblačnosti či ke studiu zdravotního stavu vegetace. Jako daleké nebo vzdálené infračervené záření se označuje záření s vlnovými délkami $4\ \mu\text{m} - 15\ \mu\text{m}$. Záření s vlnovou délkou nad $8\ \mu\text{m}$ se využívá ke zjišťování radiační teploty a tepelné bilance povrchových objektů, jelikož při pokojové teplotě objekty vyzařují nejvíce infračerveného záření právě v pásmu $8\ \mu\text{m} - 15\ \mu\text{m}$. Proto je daleké infračervené záření považováno často za „tepelné“. Záření s vlnovou délkou $15\ \text{až}\ 1000\ \mu\text{m}$ je silně pohlcováno v zemské atmosféře, takže není pro dálkový průzkum použitelné.

Posledně zmíněné spektrum záření, využívané pro DPZ, je *záření mikrovlnné* ($1\ \text{mm} - 1\ \text{m}$), které pokrývá nejdelší vlnové délky elektromagnetického spektra. Je využíváno především v souvislosti s radary, které poskytují data pro studium reliéfu, plovoucího ledu či geomorfologii. Dále jsme schopni za pomoci mikrovlnného záření získat informace o výškových poměrech i o řadě meteorologických prvků. (<http://ccrs.nrcan.gc.ca>, 2007; Kolář, 1990; Kolář, 2008).

KAPITOLA 3

Spektrální charakteristiky krajinného pokryvu

3.1 Spektrální odrazivost

Záření, které není absorbováno či zcela rozptýleno atmosférou, dopadá na zemský povrch a dochází tak k jeho interakci s různými objekty. Interakce s povrchem může mít několik podob. Záření může být povrchem zcela absorbováno, propuštěno nebo odraženo. Jak moc bude záření, působící na zemský povrch absorbováno, propuštěno či odraženo, závisí na několika faktorech, jakými jsou například vlastnosti povrchu, druh látky, její chemické složení, fyzikální stav daného objektu, stav okolí (např. atmosféra), vlnová délka a úhel záření. Tato práce bude nejvíce zaměřena právě na záření odražené od různých povrchů, na různých vlnových délkách a v různé době.

Za pomoci přístrojů používaných v DPZ jsme schopni sledovat zář a odrazivost objektů v řadě vlnových délek. Díky tomu je možné porovnávat jednotlivé objekty či povrchy na Zemi právě na základě jejich odrazivosti, která se v různých vlnových délkách a u různých objektů liší. Každá pozemská látka a objekt mají tedy svojí vlastní spektrální charakteristiku, která popisuje jejich zářivé vlastnosti. Intenzita odrazivosti sledované látky je povětšinou odlišná v jednotlivých spektrech elektromagnetického vlnění. Některé objekty odrážejí nejvíce záření např. ve viditelném spektru, jiné zase v infračerveném.

Nejčastěji je spektrální charakteristika objektů vyjádřena jako graf spektrální odrazivosti, na kterém je znázorněna tzv. spektrální křivka, což je funkce udávající odrazivost objektu v závislosti na vlnové délce. V ideálním případě by tato křivka odrazivosti každého objektu na Zemi měla umožnit přesnou identifikaci a přesné rozlišení jednotlivých druhů rostlin, lesů, půd, minerálů aj. (Campbell, 1987).

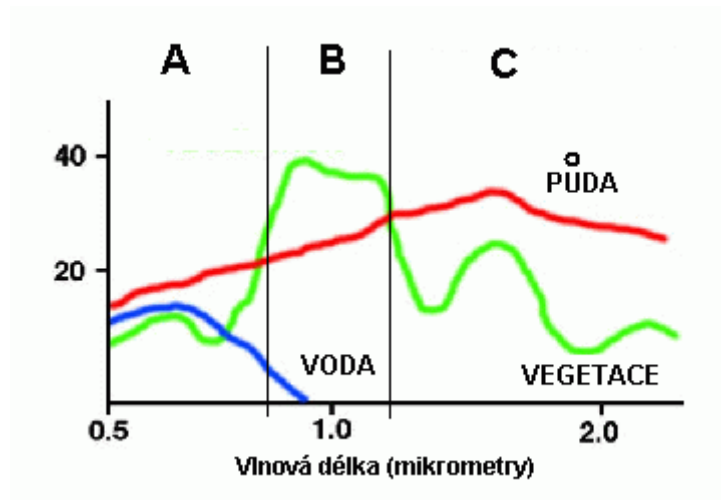
Ovšem v praxi nejsou získaná data nikdy úplně „čistá“, proto je nutné spolu se spektrálními charakteristikami zjišťovat také rozličné stavové parametry, jako jsou například teplota, vlhkost, stáří a hustota. U některých typů látek, jako je například vegetace, je zapotřebí znát i roční, případně denní dobu, jelikož spektrální charakteristiky jsou v těchto případech časově proměnné.

Při určování objektů na základě znalosti jejich spektrálních křivek je důležité si uvědomit právě jejich odlišnou odrazivost na různých částech elektromagnetického spektra. Jak již bylo řečeno výše, některé povrchy mohou odrážet podobné množství záření na kratších vlnových délkách (UV záření, viditelné světlo), ale na delších (infračervené, mikrovlnné záření) se jejich odrazivost může rapidně odlišovat. Je proto důležité znát spektrální křivku objektu na co největším intervalu vlnové délky.

3.2 Spektrální křivky vybraných povrchů

Abychom byli schopni efektivně využívat data z DPZ, je zapotřebí znát a rozumět jednotlivým spektrálním charakteristikám konkrétních pozorovaných objektů. Jelikož existuje nespočetné množství různých druhů povrchů, není možné uvést spektrální odrazivost u všech. Existují ale tři základní typy povrchů, které se svojí odrazivostí vzájemně velmi liší a jejichž zářivé vlastnosti jsou specifické. Řadí se mezi ně vegetace, voda a holá půda (viz obr. č. 4).

Obr. č. 4



Zdroj: <http://www.sci.muni.cz>

Při praktickém měření je pak výsledkem kombinace těchto tří základních typů.

Křivky na obrázku č. 4 reprezentují typickou spektrální odrazivost pro půdu, vodu a vegetaci. I když křivky odrazivosti individuálních měřených povrchů se budou pohybovat nad i pod těmito typickými průběhy, jsou tyto křivky pro určování druhů povrchů stěžejní.

V následujících kapitolách budou podrobněji popsány právě tyto tři základní spektrální průběhy.

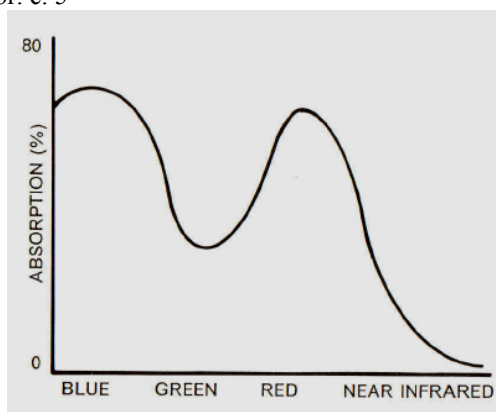
3.2.1 Vegetační povrch

Vegetační povrch neboli rostlinstvo představuje nedílnou součást naší planety a je jedním z nejdůležitějších prvků prostředí, ve kterém žijeme. Proto se vyjma polárních a pouštních oblastí nachází téměř ve všech oblastech. Výzkum vegetace hraje tedy v DPZ velmi důležitou roli (Kolář a kol., 1996). Hlavními druhy vegetace, na které se zaměřuje DPZ a následně i tato práce jsou travní porosty, listnaté a jehličnaté lesy a kulturní plodiny.

Nevýznamnější podíl na absorpci a odrazivosti elektromagnetického záření od vegetace mají listy. Proto převážně spektrální vlastnosti listu určují průběh spektrální křivky vegetace.

Přestože struktura listu není stejná pro všechny typy rostlin, její hlavní složky jsou běžné ve většině druhů. Chlorofyl neboli zelený pigment je rozhodujícím činitelem, jelikož tvoří až 65% listového pigmentu (Campbell, 1987). Na obrázku č. 5 je znázorněno spektrum absorpce pro chlorofyl. Je patrné, že toto barvivo neabsorbuje sluneční záření rovnoměrně. Molekuly chlorofylu absorbují až 70-90% modrofialového a červeného záření. Záření v zeleném spektru je absorbováno mnohem méně, logicky tedy více odráženo. Právě díky této skutečnosti se lidskému oku jeví listy rostlin jako zelené.

Obr. č. 5



Zdroj: CAMBELL, James.B, Introducton to remote sensing

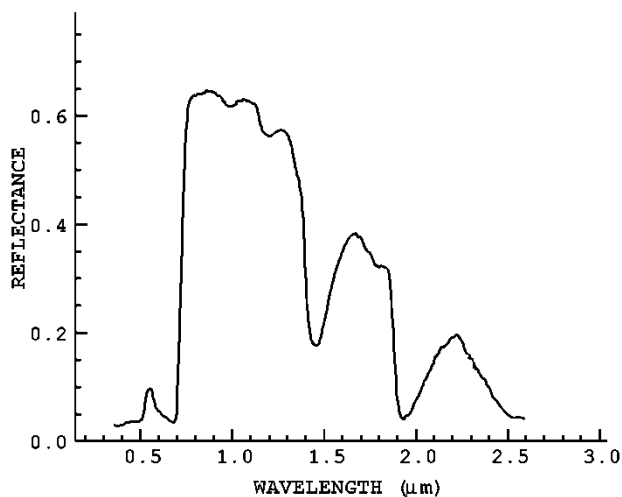
Na podzim nebo v době, kdy rostlina podléhá určitému dlouhodobějšímu stresu, se tvorba chlorofylu sníží či úplně zastaví. Výsledkem je pak snížení absorpce v modré a červené oblasti viditelného světla. Nižší tvorba chlorofylu je nahrazena jinými pigmenty, jako je například karoten a xanthofyl. Tyto pigmenty absorbují modré světlo a odrážejí zelené a červené. Stárnutí, nemoc rostliny či končící vegetační období se projevují žlutým zabarvením listu, jelikož žlutá barva je kombinací právě zelené a červené. Některé druhy stromů (javor, dub) se na podzim zbarvují do červena. U těchto druhů je za to odpovědný pigment anthokyan, který odráží nejvíce světlo červené (Verbyla, 1995).

Obrázek č. 6 je možno brát jako vzor průběhu spektrální křivky vegetace. Tato křivka se obvykle rozděluje do třech částí, ve kterých jsou za její tvar a tedy velikost spektrální odrazivosti odpovědné tři hlavní činitelé. Za první část je považována oblast od 0,4 μm – 0,7 μm , nazývána také jako *oblast pigmentační absorpce*. Jak již bylo popsáno výše, za průběh odrazivosti jsou zde odpovědné převážně tři hlavní pigmenty (chlorofyl, xanthofyl a anthokyan).

Druhá část spektrální křivky, v intervalu 0,7 μm – 1,3 μm , se nazývá *oblast vysoké odrazivosti* neboli *buněčné struktury*. V tomto intervalu, který odpovídá blízkému infračervenému záření, odrazivost vegetace dramaticky roste. Listy na této vlnové délce odrážejí až 40-60% slunečního záření. Zbývající záření je převážně propuštěno, absorbováno je jen minimum (méně než 5%).

Odrazivost v tomto pásmu již není závislá na množství pigmentů, jak tomu bylo ve viditelném spektru, nýbrž výsledný průběh křivky je dán, jak již název napovídá, buněčnou strukturou listu. Její vrchní vrstva (epidermis), propouští infračervené záření téměř kompletně, to znamená, že z této vrstvy je odraženo jen jeho minimum.

Obr. č. 6



Zdroj: <http://academic.emporia.edu>

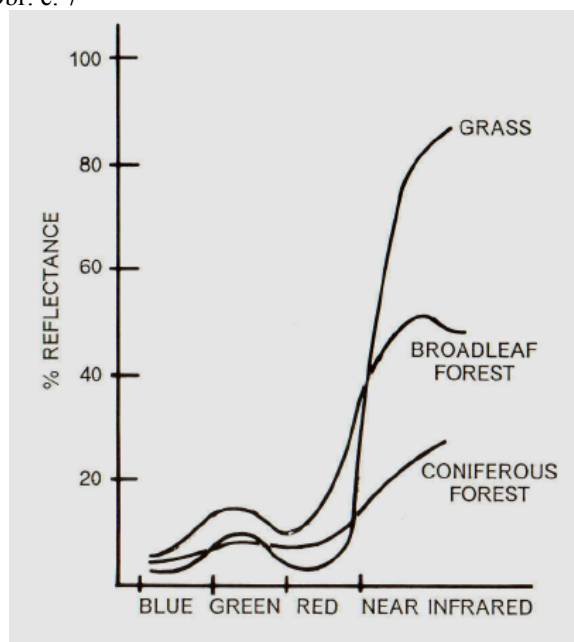
Ovšem záření prošlé touto vrchní vrstvou je díky pletivu zvanému mezofyl velmi silně rozptýlováno, a to z 60 ti % směrem vzhůru. To je pak důvodem vysoké odrazivosti na vlnových délkách infračerveného spektra (Kolář 1990, Campbell 1987).

Jelikož každý rostlinný druh má strukturu listu odlišnou, pak také odrazivost se v tomto pásmu v závislosti na druhu rostliny mění. Měření odrazivosti v blízkém infračerveném pásmu nám tedy dovoluje odlišit rostlinné druhy i přes identický průběh jejich spektrální křivky ve viditelné části spektra. Na příkladu travního porostu (grass), listnatého (broadleaf) a jehličnatého (coniferous) lesa to vysvětluje obrázek č. 7., kde jsou znázorněny spektrální křivky těchto tří druhů vegetace. Z jejich průběhu je patrné, že zatímco ve viditelné části spektra se jejich tvar nijak zřetelně nemění, v části infračervené již dochází k mnohem jasnějším rozdílům. Odrazivost u listnatých rostlin v tomto pásmu roste. Tento vzrůst je podmíněn větší plochou pro možný odraz. Menší nárůst je u jehličnatých porostů, kde se geometrie jehlic od listů značně liší.

Další možnost využití infračerveného pásma se nabízí ve zkoumání zdravotního stavu porostů. Pokud je rostlina postižena nemocí, nedostatkem vody či je napadena škůdcem, spektrální charakteristiky listu se mohou změnit. To se projeví jak ve viditelné, tak v infračervené části spektra. V NIR jsou jakékoliv disturbance často lépe zaznamenatelné. Proto změny křivek v této části spektra mohou pomoci odhalit vývoj stavu vegetace. Infračervené snímky jsou velmi hodnotné při detekci a mapování rozsahu nemocného či poškozeného porostu. Data DPZ tak

napomáhají monitorovat zrání úrody a změny v kondici vegetačního krytu mnohdy dříve, než se projeví v přírodě a s předstihem tak určovat například čas žní (Campbell, 1987).

Obr. č. 7



Zdroj: CAMBELL, James.B, Introducton to remote sensing

Další část spektrální křivky vegetace ($1,3 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$) je uváděna pod názvem *oblast vodní absorpce*. Tento interval je typický význačnými absorpčními pásy vody. Na vlnových délkách $1,4 \mu\text{m}$, $1,9 \mu\text{m}$ a $2,7 \mu\text{m}$ je díky obsahu vody záření absorbováno, a proto se ho odrazí jen jeho menší část. Na grafu z obr. č. 6 jsou tyto absorpční pásy dobře patrné výrazným poklesem odrazivosti. Od vlnové délky $1,3 \mu\text{m}$ je odrazivost listu téměř v inverzním vztahu k celkovému výskytu vody v listu. Čím více je list nasycen vodou, tím menší odrazivost na těchto vlnových délkách vykazuje. (Kolář 1990, Lillesand 1994)

V dálkovém průzkumu Země mají snímky z družic rozlišovací schopnosti několik desítek až tisíce metrů, proto je málokdy předmětem měření jen jedna rostlina či strom. Nejčastěji bývá zkoumáno celé rostlinné společenstvo. Je složeno z mnoha vzájemně oddělených listů, které mají různý tvar, velikost, orientaci a zabírají v prostoru různě velké místo. Nachází se zde mnoho vrstev listoví, kde vrchní vrstva listů stíní vrstvě spodní, která již pak není schopná odrážet tolik slunečního záření. S přibývajícimi vrstvami listoví odrazivost rapidně klesá. (Kolář 1990).

3.2.2 Voda

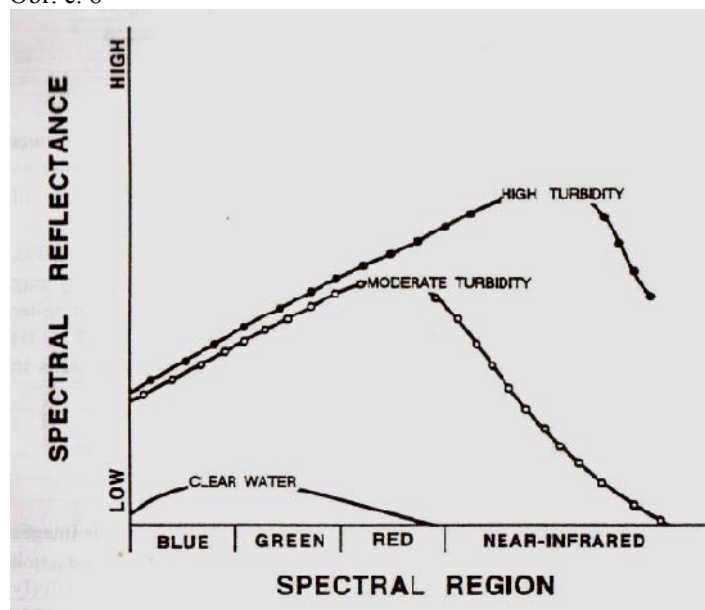
Vodní plochy pokrývají 71% povrchu naší planety, proto jsou nedílnou součástí výzkumu metodou DPZ. Vodu, jako předmět zkoumání můžeme sledovat ve třech skupenstvích – v kapalném, pevném a plynném.

Vodní plochy se vyznačují velmi malou odrazivostí téměř na všech vlnových délkách. Za typickou spektrální vlastnost vody můžeme považovat její schopnost absorpce záření na delších vlnových délkách, počínaje blízkým infračerveným pásmem. Díky těmto absorpčním vlastnostem je lokalizace vodních ploch prováděna využitím blízkého infračerveného pásma, kde se voda zobrazí jako černá plocha. Odrazivost záření je největší ve viditelném spektru a to na vlnových délkách reprezentujících modrou nebo modrozelenou barvu. Ovšem tato odrazivost se mění v závislosti na mnoha faktorech. Jedním z těchto faktorů je přítomnost organických a anorganických materiálů, které ovlivňují zakalenost hustotu vody. Jak naznačuje obrázek č. 8, s výskytem těchto suspenzí se dramaticky mění i odrazivé schopnosti vody.

Vodní plochy obsahující množství suspendovaných sedimentů se ve viditelném a blízkém infračerveném spektru vyznačují mnohem větší odrazivostí než vodní plochy čisté.

Rovněž s přítomností chlorofylu ve vodě se odrazivé vlastnosti mění. Zvyšující se koncentrace tohoto barviva má za následek snížení odrazivosti vody na vlnových délkách odpovídajících modré barvě a naopak její zvýšení na vlnových délkách odpovídajících barvě zelené.

Obr. č. 8



Zdroj: VERBYLA, Satellite remote sensing of natural resources

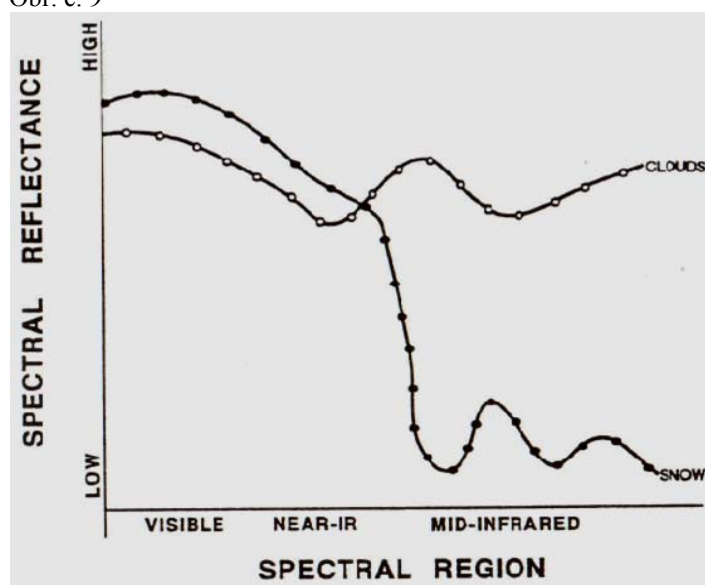
Tyto změny bývají v DPZ využívány k monitorování a odhadu koncentrace vodních řas. Ze spektrálních křivek vodních ploch je možné určovat přítomnost či absenci taninu, který se do vody dostává z různých močálů či bažin. Dále lze také stanovit množství škodlivých polutantů, jako je například olej nebo jiný industriální odpad (Lillesand, 1994).

Jelikož dopadající sluneční záření je ve viditelném spektru značně propouštěno skrz vodní hladinu, lze být tato propustnost využita k získávání určitých informací o spodních částech nádrže, rybníka či jiné vodní plochy. V čisté vodě lze takto získat informace až z hloubky 10 - 15m (Kolář, 1990).

Co se sněhu a mraků týče, jejich odrazivost je ve viditelném a blízkém infračerveném spektru mnohem vyšší než u vody tekoucí. Avšak odlišit sníh od mraků pouze za použití viditelného spektra bývá velmi obtížné. Zatímco odrazivost mraků je téměř konstantní v celém vlnovém rozsahu, odrazivost sněhu se s vlnovou délkou rapidně mění (viz obr. č. 9). Sníh má ve viditelném a infračerveném spektru velmi vysokou odrazivost, která však prudce klesá s přechodem do středního infračerveného pásma. Nejnižších hodnot dosahuje na vlnových délkách 1,55 μm – 1,75 μm a 2,1 μm – 2,3 μm . Pokles odrazivosti zde dosahuje až 90%. Z tohoto důvodu, jsou právě tato pásma vhodná na rozlišení sněhu od mraků. Pro určování spektrální odrazivosti sněhu je důležité i jeho stáří.

Zejména ve středním infračerveném pásmu má čerstvý sníh několikanásobně vyšší odrazivost než sníh starší, který je více nasycen vodou. (Kolář, 1990).

Obr. č. 9



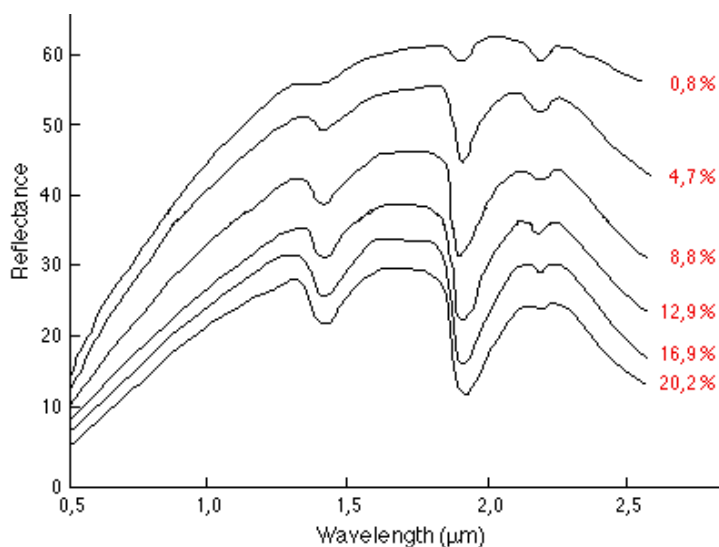
Zdroj: VERBYLA, Satellite remote sensing of natural resources

3.2.3 Půda

Pro sledování půdních vlastností je nejvýznamnější část spektrální křivky v pásmu 400 nm – 2500 nm. Toto spektrální pásmo umožňuje sledování a identifikaci široké škály látek, které se nacházejí v půdě a ovlivňují tak tvar spektrální křivky (Kolář, 2008). Mezi ty nejdůležitější patří obsah vody v půdě, půdní zrnitost (půdy písčité, hlinité a jílovité), obsah organických látek, nerovnost povrchu, přítomnost oxidu železitého, aj. Spektrální projevy holé půdy nevykazují v průběhu křivek žádné významnější zvraty, jako tomu bylo například u vegetace nebo sněhu. Určité výkyvy průběhu křivky se vyskytují v absorpčních páslech vody. Jak je vidět z obrázku č. 10, právě obsah vody má na spektrální křivku půdy značný vliv (červeně zvýrazněná procenta u jednotlivých spektrálních křivek na obrázku ukazují procentuální množství vody v půdě). Čím více vody je v půdě obsaženo, tím je křivka položena níže a půda má tedy menší odrazivost. Tvar křivky se v těchto případech zpravidla nemění. Z toho vyplývá, že hrubé, písčité půdy, chudé na množství vody mají relativně vysokou odrazivost, na rozdíl od pórovitých, vlhkých půd. Tím je dán vztah mezi vlhkostí a zrnitostí půd. Jílovité půdy mají mnohem větší schopnost zadržet vlhkost než půdy písčité, a to jak co do množství vody, tak i do délky období, na kdy je tato voda zadržena (Kolář, 2008).

Také přítomnost oxidu železitého výrazně snižuje odrazivost půdy, převážně v blízkém infračerveném pásmu.

Obr. č. 10



Zdroj: Remote Sensing Introduction, www.ucalgary.ca

KAPITOLA 4

Družicové systémy

4.1 Charakteristika pozorovacích satelitů

V současné době se nad Zemí pohybuje mnoho odlišných pozorovacích satelitů určených k nejrůznějším účelům. Dle pohybu družice rozlišujeme dva základní typy:

1. Prvním z nich jsou takzvané *geostacionární družice*, které se pohybují ve výškách okolo 36 000 km nad rovníkem, rychlostí stejnou jako je rotace Země. Proto se lidskému oku zdají být nepohyblivé. Odtud tedy jejich název geostacionární družice. Jedním z příkladů může být například družice METEOSAT zakotvena nad Guinejským zálivem. Mezi hlavní výhody těchto družic patří možnost častého snímání stejného místa povrchu.
2. Druhým typem jsou družice, které přelétají v blízkosti pólů. Odtud název *polární dráhy*. Vlivem otáčení zeměkoule tak družice za určitou dobu dokážou pokrýt téměř celý zemský povrch. Tyto družice obvykle přelétají ve směru sever-jih a jedním z příkladů může být družice Envisat či Landsat.

4.1.1 Rozlišení

Každá družice pohybující se nad Zemí je určena čtyřmi rozlišovacími schopnostmi. Jedná se o rozlišení prostorové, spektrální, časové a radiometrické. Přičemž mezi prvními třemi je vždy dosaženo určitého kompromisu, kdy je pro daný účel měření vybrána ta nejvhodnější kombinace. Například družice s vysokým prostorovým rozlišením nedosáhne lepších možností u rozlišení časového a spektrálního.

V oboru DPZ je *prostorové rozlišení* definováno jako nejmenší jednotka objektu reálného světa, která může být detekována (VÚGTK). V digitálním dálkovém průzkumu prostorové rozlišení obvykle odpovídá velikosti pixelu neboli obrazového prvku. Pokud tedy řekneme o družici, že má prostorovou rozlišovací schopnost 30m, znamená to, že každý pixel na snímku bude mít velikost 30m x 30m.

Spektrální rozlišovací schopnost je určena počtem spektrálních pásem a jejich šířkou, které dokáže družice zaznamenat. Některé družice jsou schopny zaznamenat pouze několik málo širokých spektrálních pásem, proto mají nízkou rozlišovací schopnost. Nejsou pak vhodné například pro mapování vegetace, jelikož různé vegetační typy mohou být rozlišeny právě díky svým spektrálním rozdílům (Verbyla, 1995). Naopak je tomu u jiných senzorů, které dokážou měřit v několika pásmech (tzv. multispektrální režim). Díky jejich větší citlivosti v několika

spektrálních oblastech, jsou pak výstupy z těchto senzorů uplatňovány především v nejrůznějších environmentálních studiích.

Radiometrické rozlišení udává schopnost rozlišit co nejvíce digitálních hodnot. Obrazová data jsou reprezentována kladnými čísly od 0 do určité mocniny 2. Tento rozsah je určen počtem bitů, používaných ke kódování obrázku ($1\text{bit} = 2^1 = 2$). Senzor, používající osmi bitová data, má proto k dispozici 2^8 hodnot (0-255). Každá tato hodnota reprezentuje určitý stupeň šedi. Čím vyšší exponent, tím více hodnot máme k dispozici a tedy i více druhů šedi. Proto 8 bitový snímek s 256 hodnotami šedi bude mnohem kvalitnější než snímek 2 bitový, na kterém jsme schopni rozlišit jen 4 druhy šedi.

Časové rozlišení neboli termínové rozpětí lze charakterizovat jako dobu, nejčastěji počet dnů, mezi dvěma po sobě následujícími přelety družice nad tímž územím na zemském povrchu. Tato perioda (interval) je obvykle dlouhá několik dní. Touto definicí bereme ale v úvahu jen ta měření, která jsou prováděna ze stejného úhlu. Vezmeme-li v potaz, že pozorované místo může být měřeno z několika úhlů, díky možnému překrytí záběrů při různých přeletech družice, interval mezi dvěma měřeními stejného území se pak výrazně zkrátí. Důležitým faktorem, který ovlivňuje časové rozlišení je výška dráhy. Obecně lze říci, že s rostoucí vzdáleností družice od zemského povrchu se termínové rozpětí mezi dvěma měřeními zmenšuje. Máme tedy několik faktorů, na kterých závisí časové rozlišení. Jsou to již řečený překryv záběru a výška, dále samozřejmě i technické vybavení a možnosti satelitu. Dalším důležitým faktorem je i zeměpisná šířka sledovaného území, kdy se s rostoucí zeměpisnou šířkou perioda měření výrazně zkracuje.

V DPZ je schopnost získávat data o stejném místě na zemském povrchu v různých časových okamžicích nejen velmi důležité ale i navíc žádoucí. Výsledky jsou pak často nápomocné při sledování změn, ke kterým na Zemi dochází. Například zemědělské plodiny mají v každé geografické oblasti jiný růstový režim, který je ovlivněn místními specifickými podmínkami. K měření těchto specifických zemědělských změn, je nezbytné získat data z kritických okamžiků fenologického cyklu. Výsledky analýz těchto multitemporálních dat pak poskytují cenné informace o změnách v krajině. Během několika let je pak možné porovnávat šíření choroby lesních porostů či jiné vegetace.

Velkým limitem dálkového průzkum, prováděném ve viditelné a infračervené oblasti spektra, je oblačnost. Pokrytí Země oblačností je velice proměnlivý faktor, který je závislý na místních podmínkách, denních a ročních cyklech. Mění se rychle na poměrně krátké vzdálenosti, což je z hlediska dálkového průzkumu zvláště důležité. Žádná část území není však permanentně pokrytá oblačností. Jestliže pak přelety družice nad zájmovým územím budou za sebou následovat po několika dnech, pak je ze statistického hlediska výskyt oblačnosti v dané oblasti nahodilým jevem (Kolář, 2008). Z tohoto důvodu jsou snímky s vysokým časovým rozlišením důležitým podkladem, jelikož mohou zaznamenat různé krátkodobé události. Patří mezi ně například monitorování povodní nebo olejových skvrn. Dále se tato data využívají k rozlišení

podobných objektů, na základě jejich v čase měnících se charakteristik, jako je například pšenice a kukuřice. Právě analýza dat s vysokým časovým rozlišením je předmětem této práce.

4.1.2 Satelity s vysokým časovým rozlišením

Pozorovací satelity jsou vždy vybaveny takovými technologiemi, aby byly co nejvíce vhodné k danému účelu, pro který jsou určeny. Snímky pro nejrůznější meteorologické aplikace mají sice velmi dobré termínové rozlišení v řádech několika hodin či málo dní, ale jejich prostorové rozlišení tím bývá ovlivněno. Tyto snímky jsou velmi užitečné pro detekování bouří či tornád, jelikož zabírají obrovské území ve vysokém časovém rozlišení. Data vysokého časového rozlišení jsou dále vhodná pro sledování stavu a vývoje vegetace a modelování vývoje zemědělských plodin s předpovídáním jejich výnosů. Jelikož se vegetační kryt v průběhu roku dynamicky mění, je jeho častý monitoring zásadní pro určení základních rysů chování vegetace během jejího růstu. Přehled několika družic s vysokým časovým rozlišením udává tabulka v Příloze 14.

4.2 Družice ENVISAT

4.2.1 Všeobecné informace

Tento největší evropský výzkumný satelit určený k pozorování Země byl vynesena na oběžnou dráhu 1. března 2002 raketou Ariane 5. Provozovatelem Envisatu je Evropská kosmická agentura (ESA – European Space Agency). Je určen jako nástupce starších satelitů ERS 1 a ERS 2, které byly vypuštěny na oběžnou dráhu v devadesátých letech. Cílem je poskytovat data ve vyšší kvalitě za použití nových technologických možností. Jeho předpokládaná pětiletá doba působnosti již byla překonána a satelit tak poskytuje data již osm let.

Envisat poskytuje data pro měření atmosféry, oceánu, země a ledu. Data pořízená z této družice podporují výzkum věd o Zemi, umožňují monitoring vývoje životního prostředí a klimatických změn. Envisat je vybaven deseti přístroji, z nichž každý sleduje jiný rys životního prostředí. Tři přístroje studují zemský povrch, čtyři speciální výškoměry polohu Envisatu nad zemským povrchem a zbývající tři přístroje sledují atmosféru. Hlavní úkoly jednotlivých přístrojů jsou popsány v Tab. č. 2.

Jelikož data, která jsou na KAGIK k dispozici jsou z pozorovacích aparatur MERIS a AATSR, jsou další odstavce věnovány jejich podrobnějšímu popisu.

Tab. č. 2

Název	Význam	Úkol
GOMOS	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars	Sledování koncentrace ozónu ve stratosféře
SCIAMACHY	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography	Měření koncentrace stopových plynů a aerosolů v atmosféře
MIPAS	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding	Sbírání informací o chemických a fyzických procesech ve stratosféře
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer	Získávání informací o oceánech, mořské vodě, vegetaci, mracích a vodní páře
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar	Radarový přístroj, pořizující data za jakéhokoliv počasí
AATSR	Advanced along track scanning radiometer	Měření teploty povrchu oceánů
RA-2	Radar Altimeter	Určování vzdálenosti satelitu od Země, tedy i výšky povrchu oceánů
MWR	Microwave Radiometer	Měření vlhkosti v atmosféře
DORIS	Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite	Udává pozici Envisatu na jeho dráze
LRR	Laser Retro-Reflector	Pomocí odražených laserových paprsků určuje přesnou polohu Envisatu

Zdroj: www.esa.int

4.2.2 MERIS

Optický senzor MERIS, velikostí nepřesahující 2 m a vážící pouhých 200 kg, je jedním z deseti přístrojů, umístěný na družici ENVISAT. Je určený k získávání dat, která jsou dále v regionálním či globálním měřítku používána k lepšímu porozumění a interpretaci prostředí, které nás obklopuje.

MERIS je speciální spektrometr, který ve výšce 800 km měří sluneční záření odražené od Země. Pět identických kamer vymezuje 68,5° široké pole záběru. MERIS je pak s vysokou radiometrickou přesností schopen v pásu širokém 1 150 km (velikost scény) provést měření nad celou Zemí během tří dnů. Z tohoto důvodu se data ze spektrometru MERIS řadí mezi data vysokého časového rozlišení.

V porovnání se svými předchůdci, jako je například NOAA, APT či Landsat, se MERIS může chlubit jednou nezpochybnitelnou výhodou. Je jím jeho spektrální rozlišovací schopnost. Na rozdíl od tří až sedmi spektrálních pásem, která mají již zmiňované senzory, má MERIS těchto pásem patnáct. Pokrývají oblasti viditelného (devět pásem) a blízkého infračerveného spektra (6 pásem), od vlnové délky 390 nm až 1040 nm (viz Tab. č. 3). Jelikož samotný MERIS je

nástroj plně programovatelný, je možné i u všech patnácti pásem nastavit jejich šířku a pozici (Verstraete, 1999). Prostorové rozlišení, jak již napovídá samotný název MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer), není příliš vysoké. Data ze spektrometru MERIS jsou dostupná ve dvou typech prostorového rozlišení. Prvním jsou takzvaná *Full Resolution data*, s rozlišením 290 m x 260 m, druhým pak *Reduced Resolution data*, s rozlišením 1,2 km x 1,04 km.

Tab.č. 3

	Střed pásma [nm]	Délka pásma [nm]	Použití
1	412,5	10	Výskyt pigmentů a „yellow substance“ ¹
2	442,5	10	Maximum absorpce chlorofylu
3	490	10	Chlorofyl a jiná barviva
4	510	10	Suspendované sedimenty, výskyt „Red Tides“ ²
5	560	10	Minimum absorpce chlorofylu
6	620	10	Suspendované sedimenty
7	665	10	Absorpce chlorofylu
8	681,25	7,5	Vrchol odrazivosti chlorofylu
9	708,75	10	Atmosférické korekce
10	753,75	7,5	Vegetace, oblačnost
11	760,625	3,75	Absorpce kyslíku
12	778,75	15	Atmosférické korekce
13	865	20	Atmosférické korekce
14	885	10	Vegetace, vodní pára
15	900	10	Vodní pára

Zdoje: <http://envisat.esa.int>

Spektrometr MERIS, původně určen k sledování biologie oceánů a kvality mořské vody, poskytuje také data určená ke zkoumání atmosféry a zemského povrchu. Z údajů o barevnosti vod se dají odvodit informace o koncentracích chlorofylu, suspendovaných sedimentů a aerosolů. Dále jsou data využívána ke sledování teplotního režimu povrchových vod a k porozumění uhlíkového cyklu oceánů (Kolář, 2008).

Díky přítomnosti tří spektrálních pásem umístěných na hranici viditelného červeného a blízkého infračerveného spektra (ang. „red edge“³), je možné ze snímků mnohem přesněji vyčíst

¹ Yellow substance (Gelbstoff) – výraz pro rozpuštěné organické látky, nacházející se ve vodě

² Red tides – výraz pro přirozeně vyskytující se, ale ve větší koncentraci než je obvyklé, mikroskopické vodní řasy (*Gymnodium breve*).

³ Red edge – označení části spektra na rozhraní červeného a blízkého infračerveného záření, kde se výrazně mění odrazivost chlorofylu. Odrazivost v této části vlnové délky stoupne z 5 % na 50 %.

některé parametry týkající se vegetace, jako je například množství chlorofylu, vegetační stres nebo koloběh živin (Smith, 2001). Pásma umístěná v infračerveném spektru pomáhají při určování druhů vegetace, jelikož různé druhy vegetace se svými odrazivými vlastnostmi často výrazně liší právě v infračerveném pásmu.

4.2.3 AATSR

Další data, která jsou k dispozici na KAGIK pocházejí ze zobrazujícího radiometru AATSR, umístěného také na družici Envisat. AATSR snímá vyzařované či odražené záření ve viditelné, infračervené a termální infračervené části spektra. Je nejnovějším ze série produktů ESA pro přesné měření teploty moře, což je jeho primární využití. Měření teploty oceánů je důležité pro získávání informací o klimatických podmínkách na Zemi. AATSR měří tuto teplotu s přesností 0,05°C. Druhým úkolem radiometru je vykonávat kvantitativní měření zemského povrchu, především se zaměřuje na sledování rostlinné biomasy, měření vlhkosti vegetace, jejího zdraví a vegetačního růstu. Radiometr je schopný podávat informace i o teplotě povrchu, změnách klimatu, oceánských procesech, atmosféře včetně mraků a aerosolů a v neposlední řadě i kryosféře. Dále poskytuje aktuální informace o dynamice vegetačního pokryvu.

Radiometr AATSR měří v sedmi spektrálních pásmech a prostorové rozlišení výsledných dat je 1 km x 1 km. Výběr vlnových pásem odráží hlavní požadavek měření teploty zemského povrchu a oceánů. Přesnou polohu spektrálních pásem, jejich šířku a využití uvádí tabulka č. 4. Informace o odrazivých vlastnostech zemského povrchu jsou získávány ze třech kanálů spektra, a to z 0,56 μm, 0,67 μm a 0,85 μm. Právě poslední dvě zmiňované vlnové délky jsou velmi důležité pro nejrůznější vegetační studie. Nacházejí se v červeném a blízkém infračerveném pásmu, která se pro výpočet vegetačních indexů používají.

Další velmi důležitým úkolem radiometru AATSR jsou atmosférické korekce. AATSR je schopný pozorovat v jednom okamžiku sledovaný bod ze dvou různých úhlů a tedy za odlišných působení atmosféry. Právě díky rozdílným atmosférickým podmínkám je AATSR schopný odhadnout a opravit nepřesnosti vzniklé atmosférickou absorpcí.

Tab.č. 4

	Střed pásma [nm]	Délka pásma [nm]	Použití
1	555	20	Odrazivé vlastnosti chlorofylu
2	659	20	Vegetační index
3	865	20	Vegetační index
4	161	0,3	Oblačnost
5	370	0,3	Měření teploty oceánů
6	1 085	1	Měření teploty oceánů
7	1 200	1	Měření teploty oceánů

Zdroj: <http://www.esa.int>

KAPITOLA 5

Literární rešerše

Témata, zabývající se spektrálními charakteristikami objektů či monitorováním krajinného pokryvu použitím nejrůznějších pozorovacích satelitů, jsou často řešena pomocí metod dálkového průzkumu. Znalost projevů vegetace a celé krajiny během ročních období i v průběhu několika let je velmi důležitá pro pochopení environmentálních dějů či pro detekci jednotlivých kategorií krajinného pokryvu. Následující text pojednává o vybraných důležitých studiích řešeného tématu.

Jako jednu z prvních studií na toto téma lze uvést článek z prvního čísla časopisu „Remote Sensing of Environment“. Knipling (1970) se v něm zabývá základními fyzikálními a fyziologickými aspekty odrazivosti vegetace ve viditelném a infračerveném spektru. Nejprve se zaměřuje na využití dálkového průzkumu v zemědělství a jiných oborech zabývajících se dynamikou krajiny, následuje souhrnný popis základní křivky odrazivosti listu, za kterým je podrobně rozebrán samotný mechanismus odrazivosti. Důležité je srovnání křivek odrazivosti, absorpce a propustnosti vegetace a dále vliv obsahu vody na průběh křivky. Jiným neméně zajímavým a důležitým zjištěním je srovnání odrazivosti samotného listu a odrazivosti celých vegetačních společenství. Zde dochází k značným rozdílům. Odrazivost vegetačního společenství je výrazně nižší než odrazivost samotného listu. Důvodem jsou různé úhly, pod kterými jsou jednotlivé listy ozařovány, jejich orientace, stíny a v neposlední řadě holá půda bez listů, jako pozadí lesů, luk a jiných rostlinných společenství. Například typická odrazivost listnatých lesů se pohybuje okolo 3 % - 35 %. Odpovídající hodnoty pro odrazivost samotného listu na stejných vlnových délkách jsou ale 10 % - 50 %. Poslední část článku se zabývá aplikacemi dálkového průzkumu v zemědělství, kdy rozdíly v odrazivosti mohou přispět k určení jednotlivých druhů plodin či detekce nakažených či jinak stresovaných rostlin. Autor článku zde nakonec dochází k závěru, že pokud je rostlina pod určitým stresem, změny v odrazivosti se projeví ve viditelném spektru stejně rychle a se stejnou intenzitou jako ve spektru infračerveném.

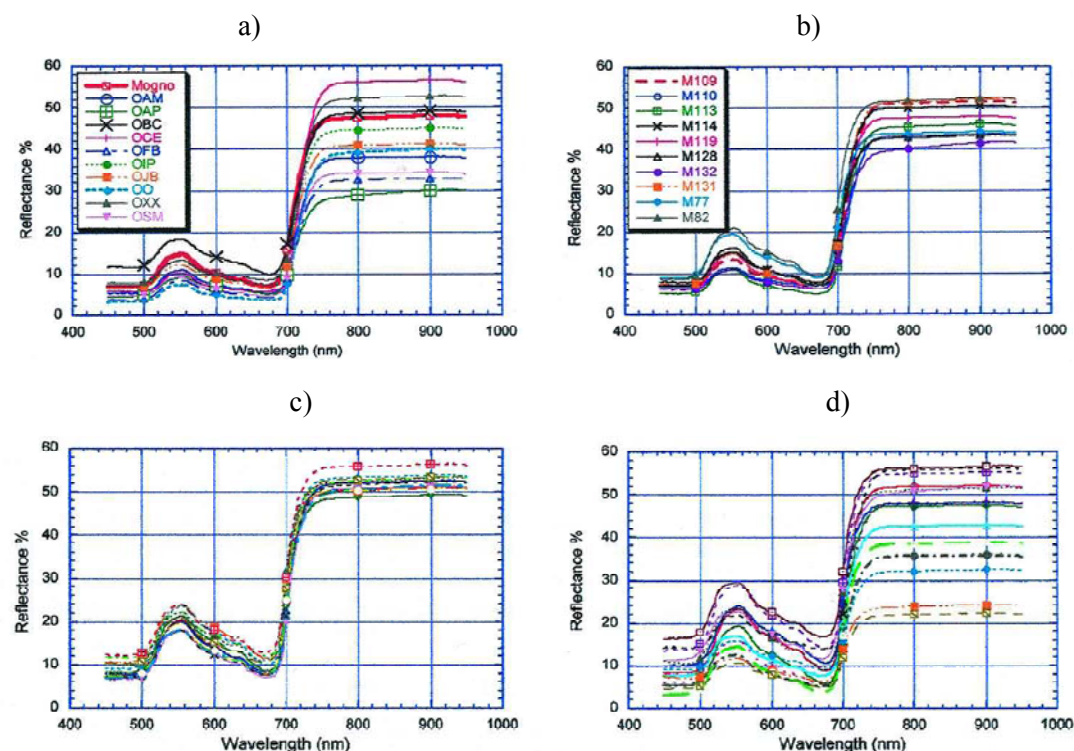
Seiler a Csaplovics (2008) se zabývají konkrétnějšími aplikacemi, speciálně použitím dat ze spektrometru MERIS, konkrétně v analýze změn dynamiky krajinného pokryvu kolem vnitrozemské delty řeky Niger. Toto území bylo vybráno pro jeho specifické interakce mezi podmínkami před, během a po každoročně opakujících se povodních během posledních čtyř měsíců v roce. Tyto podmínky totiž velmi ovlivňují skladbu krajinného pokryvu v deltě a kolem ní. Spektrometr MERIS byl nápomocný při určování změn vegetačního pokryvu v subsaharských mokřinách. Bylo použito 17 snímků spektrometru MERIS od srpna 2002 do března 2005. Srpnová data ukazují stav na konci dešťového období, říjnová na počátku povodní

a prosincová na jeho konci. Dubnová pak dokumentují situaci v průběhu období sucha a červnová konec suchého období. Autoři nejprve vytvořili vrstvy faPAR a fCover (viz Seiler, 2008), které byly použity pro rozlišení pixelů jak s půdou, tak s vegetací a následně provedli dvě klasifikace. První obsahovala 6 tříd s holou půdou, druhá s vegetací. Bylo zjištěno, že výskyt jednotlivých tříd s vegetací, označujících určité druhy rostlin se výrazně mění a výsledná klasifikace tedy odpovídá hydrologickému cyklu v daném území, kdy je v různých částech cyklu území porostlé jiným druhem rostlin.

Závěrem bylo zjištěno, že k monitorování dynamiky změn vegetace je vhodné použít vegetační index faPAR, vytvořený programem BEAM. Ovšem k sofistikovanějším závěrům by bylo zapotřebí použít více bezoblačných snímků z jednotlivých období, zvláště pak z intervalu mezi koncem dešťů a počátkem povodní.

Autor Cochrane (2000) se zabývá problematikou použití odrazivosti vegetace k určení jedenácti druhů stromů rostoucích v tropických pralesech. Hlavními body zájmu v této studii bylo zjistit spektrální odrazivost druhů a určit, zda je tato informace vhodná k jejich vzájemnému rozlišení. Pak vytvořit metodu, jak určovat jednotlivé druhy vegetace pomocí hyperspektrálních dat. Autor nejprve pomocí speciálního spektrometru určil spektrální křivky 325 vzorků listoví mahagonových stromů a 190 vzorků z deseti jiných druhů.

Obr. č. 11



Spektrální křivky vybraných mahagonových stromů a jiných druhů rostoucích v tropických pralesech

Zdroj: COCHRANE, M. A. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data

Jak ukazuje obrázek č. 11a, zvláště v infračervené části spektra byly mezi jednotlivými druhy patrné velké rozdíly. Mezi jednotlivými vzorky z mahagonových stromů již byly rozdíly menší, ale stále patrné (Obr. č. 11b). Dalo by se tedy říci, že rozdíly v průběhu spektrálních křivek při srovnání několika vzorků z téhož stromu budou minimální, avšak jak prokázal autor článku, i mezi těmito křivkami mohou (ale nemusí) být velké rozdíly (Obr. č. 11c, d)

Na určení zda jsou si spektrální projevy některých druhů podobné, byly použity tři metody. První z nich bylo použití střední kvadratické chyby a metriky θ (viz Cochrane, 2000), pomocí nichž byly zjištěny rozdíly ve tvaru spektrálních křivek. Druhý způsob, jak od sebe efektivně rozeznat jednotlivé druhy, bylo použití odrazivosti v tzv. „red-edge“ (680-730nm). Při porovnání inflexních bodů jednotlivých křivek odrazivosti, nacházející se v oblasti red-edge, byly zjištěny značné rozdíly. Zatímco křivky mahagonových stromů měly inflexní bod nejčastěji na vlnové délce 703nm, u jiných druhů dosahovala tato hodnota i 712 nm. Jako poslední metodu zvolil Cochrane tzv. „shape-filtering“ (viz Cochrane, 2000), kdy byl za základní prostor určen spektrální region mahagonového stromu a kdykoliv spektrum jiného druhu tento prostor přesahovalo, byl druh od mahagonu separován. V závěru článku autor diskutuje využití spektrálních projevů vegetace. Díky nejednotnosti spektrálních projevů není tedy možné nikdy přesně separovat všechny druhy vegetace, ale přesto může být tato metoda užitečná. V reálných případech je ale nutné použít data s vysokým spektrálním a nejlépe i prostorovým rozlišením.

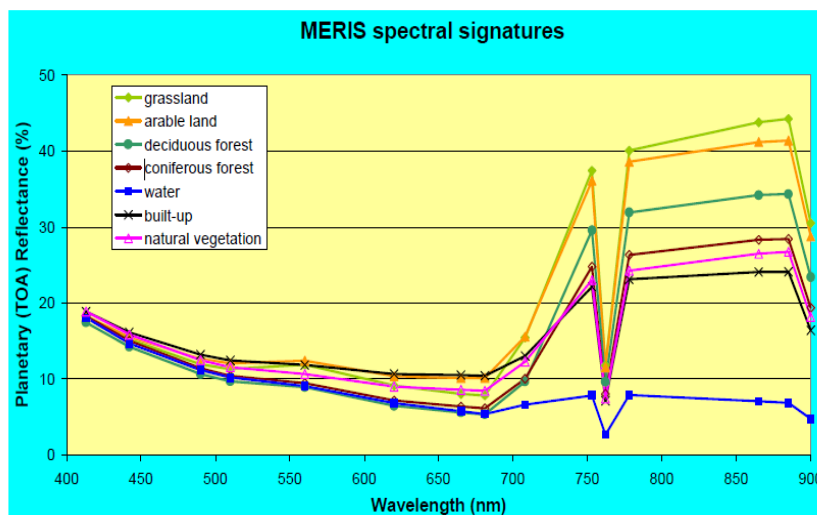
Následující článek, tentokrát od českých autorů (Brodský a kol., 2008), popisuje řízenou klasifikaci několika plodin pomocí multitemporálních snímků ze spektrometru MERIS. Na území České republiky, kde klasifikace probíhala, bylo zvoleno pět skupin plodin, a to zimní plodiny, jarní, letní, řepka olejka a blíže nespecifikované plodiny. Bezoblačné snímky MERIS byly pořízeny v období duben – září 2007. Pro klasifikaci byla použita metoda tzv. umělých neuronálních sítí (viz Brodský, 2008) a trénovací data byla pořízena sběrem přímo v terénu. Přesnost výsledků klasifikace byla srovnána s mapou plodin vysokého prostorového rozlišení, pořízenou ze snímků družice SPOT 20. Nejlepších výsledků se podařilo dosáhnout při klasifikaci zimních plodin, a to 86,2 %. Méně přesných výsledků bylo dosaženo při určování jarních a letních plodin, kde docházelo k mísení těchto plodin se skupinou „ostatní“. To mohlo být způsobeno nedostatkem vhodných bezoblačných snímků během hlavního vegetačního období, kdy se dají tyto plodiny nejlépe odlišit. Celková přesnost při rozlišování pěti druhů plodin byla 70 %, pokud byla klasifikace provedena jen u třech druhů, přesnost vzrostla na 80 %. Pro dosažení větší přesnosti i u klasifikace pěti a více druhů plodin by bylo zapotřebí více bezoblačných snímků během hlavní sezóny, což ovšem nemůže být nijak ovlivněno.

Použití dat MERIS a AATSR bylo využito také Spinetti a kol., (2008), kteří se ve svém výzkumu zabývali vulkanickým popelem a aerosoly sopky Etna na Sicílii. Pro studii byla vybrána data ze spektrometru MERIS a radiometru AATSR, která byla pořízena během

vulkanických erupcí v letech 2002 – 2003. Použitím viditelných a termálních infračervených pásem byly odhaleny možnosti, jak získat užitečné informace o různých vulkanických částicích. Pro vyhledávání vulkanického prachu a aerosolů autoři využili tři metody. Na data MERIS i AATSR pořízená stejného dne (28. října 2002) byly aplikovány tři vzájemně se lišící algoritmy. Prvním z nich byl tzv. „radiative transfer inversion algorithm“ (viz Spinetti, 2008) který byl použit na data MERIS. Algoritmus, pracující s viditelným spektrem podává informace o vyvržených sopečných částicích, jejich rozmístění a hodnotách AOT („Aerosol Optical Thickness“). Byly identifikovány dva hlavní sopečné oblaky. Hlavní oblak, sestávající se z větších částic ($> 1 \mu\text{m}$) a druhý, složený z částic menších. Druhý algoritmus, tzv. ORAC (viz Spinetti, 2008) byl aplikován na viditelná a blízká infračervená spektrální pásma radiometru AATSR. Z tohoto algoritmu bylo možné odvodit předpokládanou doletovou vzdálenost sopečných částic. Poslední algoritmus, nazvaný BTM byl použit na termální pásma AATSR v oblasti 11-12 μm . Za použití tohoto algoritmu bylo možné určit velikost částic sopečného popela a celkovou hmotnost nahromaděného popela během erupce. Porovnáním těchto tří metod bylo zjištěno, že k identifikaci sopečných částic jsou vhodné všechny tři metody. Zatímco metoda používající viditelné spektrum byla citlivější k jemnějším částicím, BTM, používající delší vlnové délky byla vhodná pro určování částic sopečného popela.

Jan Clevers a kol. (2004) z nizozemské univerzity ve Wageningenu studovali využití dat MERISu pro klasifikaci krajinného pokryvu v Nizozemsku. K mapování byl použit snímek z 16. června 2003 a k závěrečnému porovnání autoři použili nizozemskou databázi land coveru, kterou přizpůsobili rozlišení dat MERIS (300 m). Z této databáze byl zvolen trénovací soubor, potřebný pro klasifikaci nejprve sedmi různých tříd. Dále byly vypočteny korelační koeficienty mezi jednotlivými spektrálními pásmy MERIS, ze kterých byla jednoznačně patrná vzájemná korelace mezi pásmy ve viditelném spektru a korelace mezi pásmy ve spektru infračerveném (viz Clevers, 2004). Ze snímku byly určeny spektrální křivky jednotlivých tříd land cover (Obr. č. 12), kde největší obtíže dělala separace luk a zemědělské půdy a dále jehličnatých lesů, zastavěné plochy a přirozené vegetace. Důvodem byl u těchto skupin velmi podobný tvar spektrální křivky. Výsledky samotné řízené klasifikace ukazují na její nevelkou přesnost – pouze 49,7 %. K největší záměně docházelo, jak již spektrální křivky napovídají, při rozlišování luk a pastvin od orné půdy, kdy uprostřed vegetační sezóny mají tyto třídy podobné množství biomasy. Z těchto prvních výsledků bylo zřejmé vhodné spojení některých tříd. Následnou klasifikací pouze čtyř tříd vzrostla celková přesnost na 78,1 %. V závěru článku se autoři vyjadřují k dalším možnostem zvýšení přesnosti klasifikace. Pro tuto studii byl použit pouze jeden snímek, který bohužel na severu území zachycoval značnou oblačnost, která následně negativně ovlivnila výsledky klasifikace. Pokud by bylo k dispozici více bezoblačných snímků a z různých časových období, klasifikace krajinného pokryvu by dosáhla přesnějších výsledků.

Obr. č. 12



Zdroj: CLEVERS, Land cover classification with the Medium Resolution Imaging Spectrometer

V posledním vybraném článku se autoři Zurita-Milla a kol., (2008) věnují monitoringu dynamiky vegetace za použití sloučení snímků ze spektrometru MERIS a ze satelitu Landsat TM. Jelikož byl výzkum prováděn nad modelovým územím v centrální části Nizozemska, bylo zapotřebí použít snímky vysokého časového rozlišení, které je schopen MERIS poskytnout. Ovšem pro monitorování fragmentovaných částí krajiny bylo vhodné použít data s vysokým rozlišením prostorovým, které mají snímky pořízené satelitem Landsat (30 m). Ke sloučení bylo použito sedm snímků MERIS pořízených během roku 2003 a jeden snímek Landsat, také z roku 2003. Pro určení hlavních prvků krajiny byla použita nizozemská databáze land coveru (LGN 5) s rozlišením 25 m. Ta posloužila k odvození počtu jednotlivých tříd, nacházející se v jednom MERIS pixelu. Následně byl podle LGN 5 každý pixel ve všech pásmech rozdělen (viz Zurita-Milla, 2008). Již sloučené snímky byly použity pro výpočet vegetačních indexů, kde bylo dokázáno, že hodnoty vypočtených indexů odpovídají indexům získaných z původních snímků MERIS. Použití sloučených snímků poskytlo více detailů užitečných k monitorování dynamiky heterogennější krajiny či menších území. Výsledky této práce ukazují na možnost využití této metody v případech, kdy je díky časté oblačnosti nutno použít snímky s vysokým časovým rozlišením na úkor rozlišení prostorového.

Závěrem této kapitoly bych chtěla konstatovat, že většina metod použitých v zde uvedených článcích a studiích je založena na složitých algoritmech a matematických výpočtech, jejichž podrobné vysvětlení by zasahovalo nad rámec této bakalářské práce. Proto v těchto případech vždy odkazuji na použitý článek, kde se čtenáři mohou o aplikované metodě dozvědět potřebné informace.

KAPITOLA 6

Metodika

6.1 Zajištění dat

Pro studování dané problematiky byly použity družicové snímky ze spektrometru MERIS. Kvůli prostorovému rozlišení MERIS, které se pohybuje okolo 300m, nejsou tyto snímky příliš vhodné pro mapování území s velkou heterogenitou. Proto byly pro účely této práce vybrány takové krajinné plošky ve středních a jižních Čechách, které přesahují výrazně svou velikostí prostorové rozlišení tohoto spektrometru. Snímky AATSR nebyly nakonec v práci použity. Hlavním důvodem bylo jejich velmi špatné rozlišení, které není ke sledování změn krajinného pokryvu vhodné. Již rozlišení MERIS bylo v mnoha případech nedostatečné, proto by práce se snímky AATSR nevedla k lepším výsledkům.

Snímky, se kterými bylo pracováno, byly získány na KAGIK, kde jsou dlouhodobě stahovány a uchovávány. Výběr vhodných dat byl uskutečněn použitím programu Eolisa (také někdy jen Eoli). Eoli je aplikace od Evropské kosmické kanceláře (ESA), která poskytuje náhledy družicových snímků a slouží i k jejich objednávání. V podstatě se jedná o katalog s družicovými snímky, pořízenými pozorovacími satelity ENVISAT, ERS, Landsat, IKONOS, DMC, ALOS, SPOT, Kompsat, Proba, JERS, IRS, Nimbus, NOAA, SCISAT, SeaStar, a Terra/Aqua. V tomto programu byly vybrány vhodné snímky za období duben - listopad 2009. Každý snímek má své identifikační číslo (Orbit, Track), podle kterého byl nalezen na serveru katedry. Byly vybrány pokud možno bezoblačné snímky, zachycující sledované území (Příloha 12).

6.2 Sledované oblasti

Přesná poloha sledovaných území na snímku byla určena zeměpisnými souřadnicemi, zaměřených v terénu pomocí GPS. Vybráno bylo celkem 30 oblastí vyskytujících se ve středních a jižních Čechách a prostorově přesahující rozlišení MERIS (300 m x 300 m). Vybrány byly listnaté (1) a jehličnaté lesy (6), zemědělská půda (20), vodní plochy (2) a zástavba (1), konkrétně centrum hlavního města. Jelikož se ve sledovaném území nepodařilo nalézt žádné listnaté lesy, tato kategorie byla vybrána u Máchova jezera, kde se listnaté lesy vyskytují ve větší míře.

Sledované oblasti je možné rozdělit do dvou kategorií. První kategorií jsou ty oblasti, které bylo možné předem přesně určit (lesy, zástavba, vodní plochy). Naopak u zemědělských oblastí nebylo předem známo, jaké druhy plodin se zde vyskytovaly. Až na základě získaných znalostí o spektrálním chování vegetace, byly některé plodiny později přesněji identifikovány. Dále bylo

možné již předem předpokládat, že u některých kategorií, jako jsou jehličnaté lesy, vodní plochy a zástavba, se spektrální odrazivost během roku bude měnit jen minimálně. Na druhou stranu u většiny zemědělských oblastí se lze domnívat, že spektrální odrazivost bude během roku velmi proměnlivá.

Protože souřadnice jednotlivých území byly měřeny na jejich okrajích, nejčastěji u silnic, bylo nutné polohu vybraných oblastí nejprve upřesnit. Souřadnice bylo třeba určit přibližně uprostřed sledované oblasti. K tomu byl využit program Google Earth, kam byly původní souřadnice vloženy a upraveny na požadované hodnoty. S těmito hodnotami pak bylo nadále pracováno. V programu Google Earth bylo také zjištěno, že dvě vybrané zemědělské plochy nemají potřebnou velikost (minimálně 300 m x 300 m), a byly pro další účely vynechány.

6.3 Úprava pořízených dat

Postup zpracování družicových snímků probíhal převážně v programu BEAM. Byly provedeny čtyři úpravy snímků. Aby byla práce se snímky jednodušší a rychlejší, byl nejprve každý snímek oříznut dle území České republiky (byl vytvořen tzv. „Subset“). Následně byly provedeny samotné korekce.

Jako první byla provedena korekce, odstraňující tzv. „smile efekt“. Ten má za následek deformaci spektrálních křivek, či jejich posunutí. Byla použita funkce „Smile Correction Processor“.

Poté byly provedeny atmosférické korekce. Byla použita funkce SMAC („Simplified Method for Atmospheric Correction“). Snímky MERIS, které jsou na katedře k dispozici, jsou tzv. „Level 1b“. To znamená, že z jejich spektrálních pásem nelze zjistit odrazivost povrchu na povrchu, ale odražené záření z horní vrstvy atmosféry. Takto neupravená data by byla atmosférou velmi ovlivněna a neposkytla by tak požadované informace. Po provedení této korekce byl negativní vliv atmosféry odstraněn a ze spektrálních křivek tak bylo možné odvodit odrazivost na povrchu Země. Aby bylo možné správně tuto korekci provést, bylo zapotřebí znát údaj o tzv. AOD („Aerosol Optical Depth“). Toto číslo udává množství ztraceného slunečního záření, které je způsobeno aerosoly. Tyto aerosoly pohlcují a odrážejí sluneční záření a skutečné odražené záření od sledovaného území tím značně modifikují. Hodnota AOD byla zjištěna z internetového zdroje <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>, kde bylo pro přesné určení AOD nutné vybrat území České republiky, a dny odpovídající době pořízení snímků. Ostatní údaje potřebné k provedení SMAC korekce (tlak nad povrchem země, množství ozonu a vodních par), byly převzaty přímo ze snímků MERIS (zvolení možnosti „Use MERIS ECMWF data“).

Další úpravou, která byla provedena, byla ortorektifikace. Ortorektifikací byly odstraněny polohové chyby způsobené nerovností terénu. K úspěšnému provedení ortorektifikace bylo nutné použít digitální model terénu (GATASSE30 DEM), který je zdarma k dispozici na

oficiálních internetových stránkách programu BEAM (<http://www.brockmannconsult.de/cms/web/beam/>). Pro samotné provedení byla použita funkce „Orthorectificacion“. Jelikož tato funkce nedovoluje pracovat se snímky upravenými pomocí SMAC korekce, bylo nejprve nutné všechna spektrální pásma ze SMAC korekce zkopírovat do snímku upraveného SMILE korekcí. K tomu byla použita funkce „Create band by Band Maths“. Jako vstupní soubor byl vybrán výstup ze SMAC korekcí a výstupním snímek upravený SMILE korekcí. Postupně tak byla všechna atmosféricky upravená pásma zkopírována do výstupu ze SMILE. Ten pak obsahoval 26 pásem (13 ze SMILE korekcí, 13 ze SMAC). Nadále byly ale používány pouze pásma ze SMAC korekcí.

Již v ortorektifikovaném snímku byla ke každému novému pásmu napsána jeho vlnová délka, aby bylo možné zjistit spektrální odrazivost. Ortorektifikace byla provedena v souřadném systému WGS84. Po zobrazení dvou ortorektifikovaných snímků v programu BEAM byla potvrzena přesnost ortorektifikace. Vybrané snímky se prostorově překrývaly, což bylo zřejmé z rozpoznatelných ploch (např. nádrž Lipno).

6.3 Spektrální odrazivost

Poté, co byly výše popsaným způsobem snímky upraveny, bylo zkoumáno spektrální chování jednotlivých druhů vybraných povrchů. Při pozemním sběru souřadnic bylo charakterizováno pět typů krajinného pokryvu. A to: vodní plochy, listnatý a jehličnatý les, zástavba a zemědělské oblasti. Podrobnější rozlišení vybraných oblastí (například určení některých druhů zemědělských plodin či vymezení smíšeného lesa) bylo provedeno až na základě spektrálních křivek (více v kapitole Výsledky).

Jako první byl vybrán snímek z 14. června roku 2009. Pro lepší rozlišení vegetace byl zobrazen v kombinaci pásem Red - 10, Green - 5, Blue - 2. Následně byly určeny zvolené oblasti pomocí získaných souřadnic z terénního šetření a pomocí tzv. „Pins“ byly tyto plochy označeny. Poté byl soubor obsahující souřadnice všech Pins uložen, aby se mohl využít i u ostatních snímků.

Pro zobrazení spektrálních křivek byl použit nástroj „Spectral View“. Tento nástroj umožňuje sledovat spektrální odrazivost konkrétních pixelů. Výsledné hodnoty odrazivosti zkoumaných pixelů ve všech pásmech byly zkopírovány a vloženy do programu Excel, kde byly vytvořeny jednotlivé grafy. Bylo nutné vynechat pásmo 11 (761 nm) a 15 (900 nm). Na těchto vlnových délkách je vysoce absorbován kyslík a tím je odrazivost znatelně poznamenána.

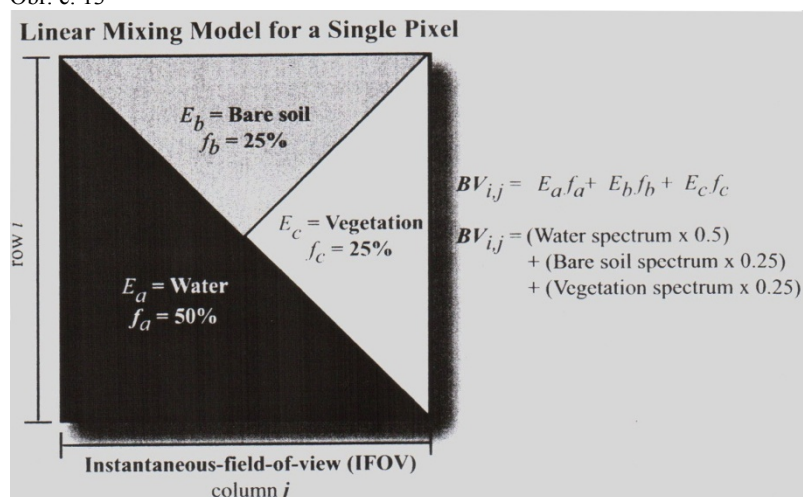
Ze spektrálních křivek bylo vytvořeno několik grafů, zobrazujících změny ve spektrálním chování vegetace a jiných povrchů během roku. Ze zástupců téže kategorie byly vypočteny průměrné spektrální křivky a zaneseny do grafu. Tento postup byl aplikován na všechny kategorie

vegetačního povrchu. Výsledné grafy tak obsahují měnící se spektrální křivky jednotlivých kategorií během roku.

6.4 Metoda Spectral unmixing

Na závěr práce byla vyzkoušena metoda „Spectral unmixing“ (dále SU). Základním předpokladem je, že u snímků, pořízených satelity s horší rozlišovací schopností (např. MERIS, AVHRR, AATSR) jeden pixel v mnoha případech nereprezentuje pouze jeden typ krajinného pokryvu. Dochází zde k tzv. míšení (Obr. č. 13). Jinými slovy, spektrální odrazivost každého smíšeného pixelu je lineární kombinací jednotlivých spekter, vyskytujících se ve snímku (Petrou, 1999). Tato metoda umožňuje dekompozici těchto smíšených pixelů.

Obr. č. 13



Zdroj: JENSEN, Introductory Digital Image Processing

Pomocí vybraných spektrálních křivek, které přesně charakterizují určitý druh vegetačního pokryvu (tzv. „endmembers“), je zobrazený snímek klasifikován. Výsledkem jsou pak pásma tzv. „abundances“ (počet pásem závisí na počtu endmembers), která uvádějí podíl jednotlivých zvolených endmembers v každém pixelu. Čím více se hodnota výsledného pixelu blíží jedné, tím je v pixelu více zastoupen určitý krajinný prvek reprezentován odpovídající spektrální křivkou. Za předpokladu, že zvolené spektrální křivky odpovídají přesně určitým krajinným prvkům (jsou tzv. čisté), by se hodnoty výsledných pixelů měly nacházet v intervalu $[0,1]$ (Mather, 1999). Jelikož kvůli nedostatečnému rozlišení MERIS nelze získat takto „čisté“ spektrální křivky, byly by pak některé hodnoty výsledných pixelů mimo tento interval. Proto byl v programu BEAM zvolen algoritmus, který hodnotám < 0 přiřadí hodnotu 0 a hodnotám > 1 přiřadí hodnotu 1; tzv. „Fully Constrained“ algoritmus.

Metodika SU byla vyzkoušena pouze na jednom snímku. Vybrán byl snímek z dubna loňského roku, poněvadž v tuto roční dobu jsou dobře rozpoznatelné základní kategorie krajinného pokryvu, jako jsou lesy, holá orná půda, vodní plochy a půda s vegetací. Pro účely klasifikace byl snímek oříznut pro sledování území středních a jižních Čech (Příloha 8). Z dubnového snímku byly tedy vybrány čtyři spektrální křivky (endmembers), reprezentující holou ornou půdu, vodní plochy, smíšený les a zemědělskou půdu s vegetací (či trvalé travní porosty). Výsledkem byly čtyři rastry, ve kterých každý pixel představoval procentuální zastoupení jednotlivými zvolenými třídami krajinného pokryvu. Jelikož výstupem byly pouze černobílé rastry (hodnoty intervalu $[0,1]$), byly pro lepší interpretaci za pomoci funkce „Colour Manipulation“ jednotlivé třídy barevně označeny.

Důležitým výstupem této metody je také pásmo, zobrazující pixely, které se nepodařilo dle spektrálních křivek určit („error band“). V tomto pásmu jsou také zobrazena místa, která byla na snímku pokrytá oblačností.

Použitou metodu bylo zapotřebí ověřit z hlediska její výpovědní hodnoty. Proto byla zhodnocena přesnost výsledku. Výsledek byl vizuálně porovnán s třemi jinými výstupy:

1. Jako první výstup k porovnání sloužil již zmíněný originální snímek, kdy byl výstup ze SU konfrontován se skutečným rozmístěním jednotlivých tříd.
2. Dále byla na stejném snímku provedena neřízená klasifikace („K-means cluster analysis“), kdy byl snímek klasifikován do čtyř tříd krajinného pokryvu. Rozmístění a struktura výsledných tříd byly pak srovnány s produktem ze SU.
3. Poslední podklad, se kterým byl tento produkt konfrontován, byla databáze Corine land cover (dále jen Corine). Tato vrstva byla z <http://geoportal.cenia.cz> nahrána do programu ArcGis, kde bylo vybráno požadované území.

Program BEAM bohužel u této metody nezobrazuje žádné číselné zhodnocení, jako je například střední kvadratická chyba, která se u SU běžně používá. Proto bylo možné dosažené výsledky zhodnotit pouze vizuálně. Stejný problém nastává i u neřízené klasifikace, která byla použita. Opět bylo možné snímek zhodnotit pouze vizuálně.

KAPITOLA 7

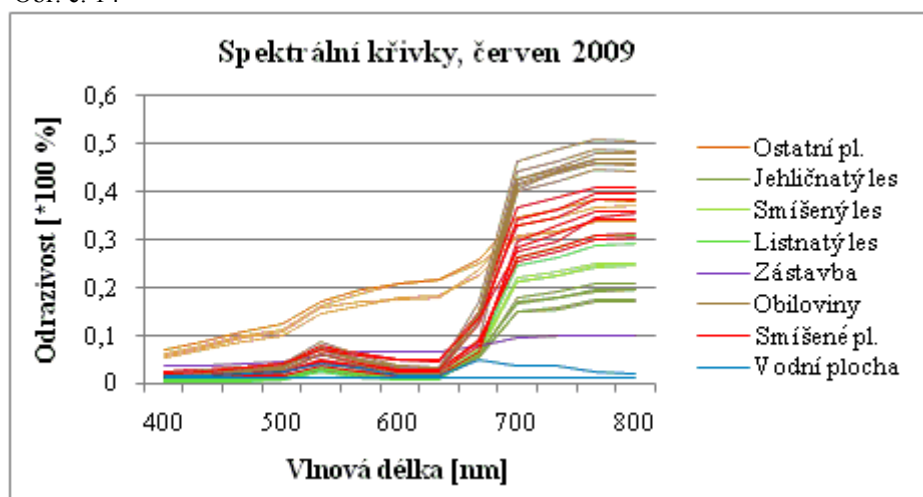
Výsledky

V následujícím textu jsou stručně popsány jednotlivé výsledky, kterých bylo v této práci dosaženo. Kritické zhodnocení výsledků, tzn. spektrálních křivek vybraných vegetačních povrchů, spolu s hodnocením metody „Spectral unmixing“ je uveden v kapitole 8 – Diskuze a zhodnocení.

7.1 Rozlišení vybraných povrchů

Jak již bylo řečeno v předešlé kapitole, při pozemním sběru dat bylo vybráno 5 kategorií vegetačního pokryvu. Nebylo ale známo, jaké plodiny se na zemědělských plochách v minulém roce vyskytovaly. Proto byly některé plodiny stanoveny až podle družicových snímků, podle jejich spektrálního chování (viz kapitola Spektrální charakteristika vegetace; Clevers, 2004; Seranno, 2000). Obrázek č. 14 ukazuje spektrální křivky vybraných oblastí, které byly pořízeny ze snímku z 14. června 2009. Na tomto snímku byla velmi dobře patrná pole, která byla v té době pouze řídce oseta a na snímcích se proto jevila jako holá půda. Jelikož takových oblastí bylo na snímku velmi mnoho, můžeme se domnívat, že tato pole byla oseta například bramborami či kukuřicí. Jelikož ale není možné určit plodinu naprosto přesně, byla tato kategorie nazvána jako „Ostatní plodiny“. Typické spektrální chování vykazují obiloviny, či jiné, již zelené a hustě vysázené plodiny, které bylo možné lehce rozeznat. Jejich odrazivost v blízkém infračerveném spektru je vysoká, odlišovala se od všech sledovaných plodin.

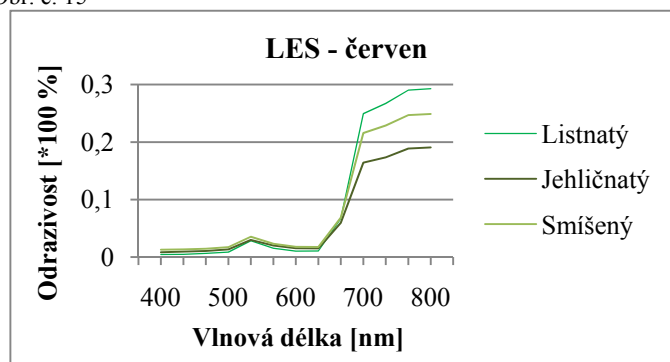
Obr. č. 14



Spektrální křivky ostatních, blíže neurčených zemědělských ploch byly velmi podobné, proto byly zařazeny do jedné kategorie (Smíšené plodiny). Byla přidána také zástavba, konkrétně centrum hlavního města Prahy. Na snímku je označena fialovou barvou a je také velmi dobře

rozpoznatelná. Z vodních ploch byla vybrána vodní nádrž Lipno a pro srovnání ještě Horusický rybník. Mezi lesními porosty, byl vybrán jeden vzorek lesa listnatého a pak několik vzorků lesů jehličnatých. Ze spektrálních křivek je jasné, že mezi jehličnatými lesy byl přimíchán les smíšený. Tyto rozdíly je možné rozlišit v blízkém infračerveném spektru. Z křivek všech tří druhů lesních porostů je patrné, že ve viditelném spektru se rozeznat téměř nedají (Obr. č. 15).

Obr. č. 15



Takto bylo vymezeno 8 kategorií vegetačního pokryvu. Ovšem při zpracování snímků z jiných ročních dob, byly postupně rozeznány další kategorie, které na červnovém snímku splývaly s jinými. Na začátku května byla velmi dobře pozorovatelná žlutě kvetoucí řepka olejka, jejíž spektrální odrazivost v červnu byla velmi podobná jako spektrální obilovina kategorie Smíšené plodiny. Díky snímkům z července a srpna byl dále rozlišen trvalý travní porost, který v červnu také splýval nejvíce s obilninami (Příloha 2). Nakonec tedy vzniklo deset různých kategorií, u kterých bylo možné popsat jejich spektrální chování během roku.

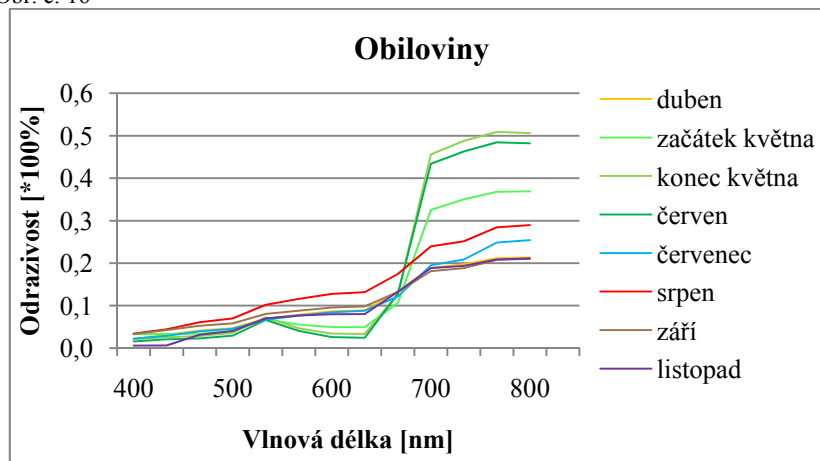
7.2 Dynamika změn krajinného pokryvu

Všechny snímky, které byly k dispozici, byly upraveny, tak jak je popsáno v kapitole Úprava pořízených dat. Jelikož výsledkem je množství grafů, zachycujících dynamiku spektrálních křivek u všech zvolených kategorií, byla většina těchto grafů vložena do obrazových příloh (Přílohy 1 - 7). Zde v textu je uvedeno několik vybraných nejdůležitějších.

Z dosažených výsledků je patrné, že zvláště u některých kategorií (Obr. č. 16) se odrazivost během roku značně měnila a jim odpovídající spektrální křivky tak měly různý tvar. Z obrázku č. 16 lze lehce rozpoznat vegetační cyklus obilovin. Je zde patrný růst plodiny od začátku května až do června. Poté, co obiloviny v červenci dozrály a následně byly sklizeny, tak se i patřičně změnil tvar spektrální křivky. Charakteristický tvar má křivka i na začátku dubna a v listopadu, kdy jsou pole holá.

Naopak tomu bylo u kategorií, jako je jehličnatý les (Příloha 1) či zástavba (Příloha 7). Jejich spektrální chování je během roku téměř stejné, jen s minimálními výkyvy.

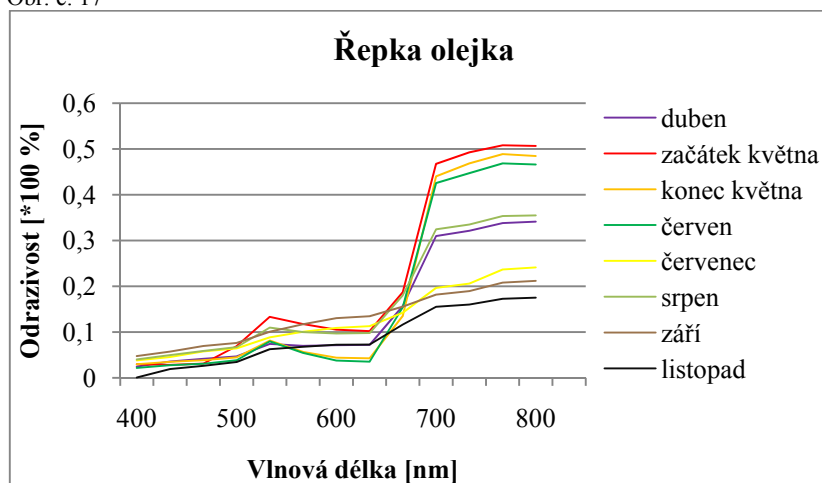
Obr. č. 16



Jak již bylo řečeno, během vegetačního období byly ze spektrálních projevů obilovin a kategorie Smíšené plodiny rozlišeny dvě další kategorie, a to trvalý travní porost a řepka olejka. Jak je patrné v Příloze 2, v měsíci červnu nebylo možné s jistotou tyto kategorie dle jejich spektrálního chování rozlišit, avšak z květnového snímku již byla zcela rozeznatelná řepka olejka. Z červencového snímku lze naopak rozlišit trvalý travní porost, jehož spektrální křivka se jako jediná během roku téměř nemění (Příloha 3).

Co se týče samotné řepky olejky, její spektrální projevy se během roku značně lišily (Obr. č. 17). Na počátku května, kdy má kvetoucí řepka svoji charakteristickou žlutou barvu se křivka značně liší od spektrálních projevů v jiných měsících.

Obr. č. 17

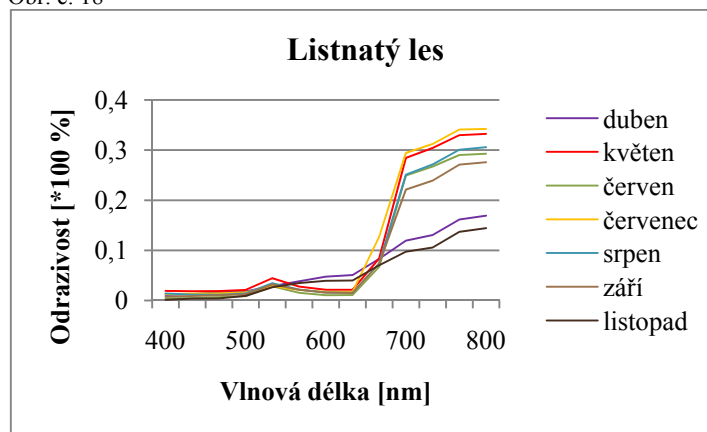


Zajímavých výsledků bylo také dosaženo v kategorii Vodní plochy. I když se během roku spektrální jejich křivky nijak dramaticky nemění, je z Přílohy 4 jasně patrný rozdíl mezi odrazivostí vodní nádrže Lipno a Horusickým rybníkem. U Horusického rybníka jsou na

spektrálních křivkách zřetelná maxima na stejných vlnových délkách jako u křivek charakterizujících vegetační pokryv.

Co se týče lesních porostů smíšených a listnatých, největší změnu ve spektrálním chování vykazují lesy listnaté (Obr. č. 18).

Obr. č. 18



Na podzim připomíná spektrální odrazivost listnatých lesů odrazivost holé půdy bez vegetace. V jarních a letních měsících zůstává jejich odrazivost neměnná. U smíšených lesů se během podzimních měsíců odrazivost také mění, ovšem ne tak výrazně, jako u lesů listnatých (Obr. č. 18). V jarním a letním období je odrazivost smíšených lesů také na stálé úrovni, ale přesto o 10 % nižší než u listnatých lesů.

U zbylých dvou kategorií (Ostatní plodiny, Smíšené plodiny) se nepodařilo přesně stanovit, o jaké plodiny se jedná, ovšem speciálně kategorie Ostatní plodiny vykazovala během vegetačního období velké změny ve spektrálním chování (Příloha 5) Téměř konstantně rostoucí křivky v jarních měsících změnily v letním období svůj tvar na charakteristické křivky odrazivosti vegetace. V podzimních měsících jsou opět patrné křivky poukazující na holou půdu. Je ovšem patrné, že ne všechny vybrané povrchy byly osety stejným druhem plodiny či byly sklizeny ve stejné době. Zatímco vzorek č. 1 vykazuje již na počátku září (8. 9. 2009) typické spektrální chování holé půdy, vzorky č. 2 - 4 v téže době reprezentují stále půdu s vegetací.

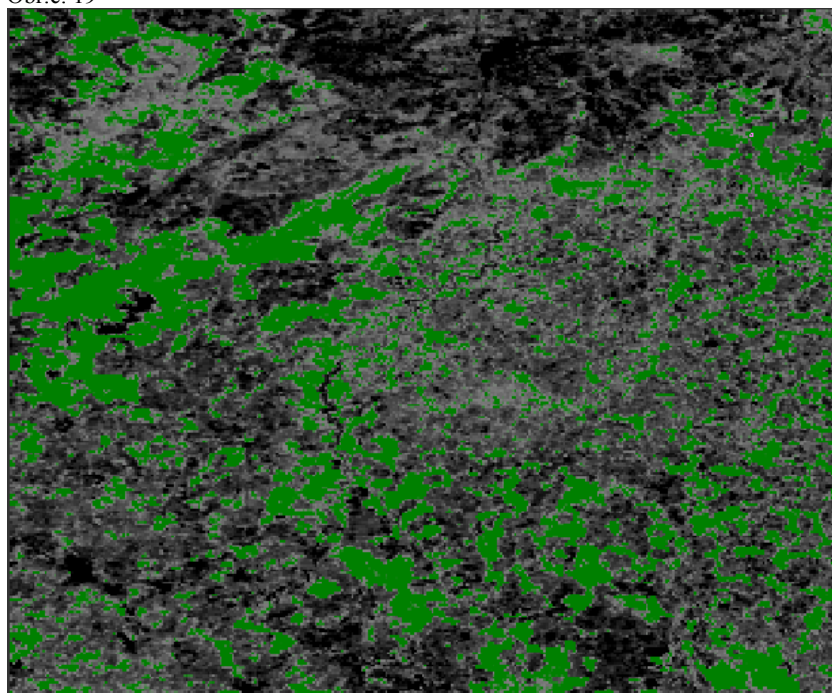
7.3 Spectral unmixing

Výsledky vzniklé použitím metody Spectral unmixing jsou zobrazeny v Příloze 9. Je patrné, že lesní porosty (Obr. č. 19) byly touto metodou úspěšně odděleny od dalšího vegetačního pokryvu. Jejich poloha odpovídá rozmístění ve skutečnosti. Stejně jako na původním snímku, i zde je nejvýraznější les pokrývající Brdy, zalesněné oblasti západně od Prahy, lesní porosty kolem Vltavy a mnoho menších lesů v jihovýchodní části snímku.

Relativně úspěšně se podařilo oddělit vodní plochy, které se však díky podobnosti spektrální křivky zástavby zobrazují s urbanizovanými plochami, především s hl. městem Prahou. Velmi zřetelná je Vltava, rozeznatelná je ale i mnohem menší Berounka. Úspěšně se podařilo oddělit i půdu se zelenou vegetací. Tento druh krajinného pokryvu je nejvíce patrný v jižní části snímku. Podařilo se oddělení holé půdy, kdy je zřejmé, že největší podíl má holá půda v pixelech zobrazující území kolem Prahy. Do tohoto výsledku byla zahrnuta i samotná Praha, což by mohlo být způsobeno stejnými faktory jako zahrnutí Prahy do vodních ploch. Opět se zde jedná o podobnost spektrálních křivek. Není tedy vyloučené, že i menší města, která na snímku nejsou rozpoznatelná, jsou zobrazena jako holá půda.

Z dosažených výsledků je patrné, že díky jednoznačnému určení spektrální křivky lesních porostů, byla nejjednoznačněji vymezena tato kategorie (Obr. č. 19).

Obr.č. 19



Výsledkem je i snímek, zobrazující pixely, které se nepodařilo určit, a byly tedy klasifikovány chybně nebo vůbec. Je zde vidět několik oblastí, mezi kterými jsou nejvíce rozpoznatelné ty, které byly pokryté oblačností a nemohly být tak přesně určeny.

KAPITOLA 8

Diskuze a zhodnocení

V této práci jsem se pokusila určit a popsat spektrální chování několika vybraných typů vegetačního povrchu během roku 2009. Během pozorovaného období bylo nakonec rozlišeno deset kategorií krajinného pokryvu. Bohužel nižší prostorové rozlišení snímků MERIS nedovolilo u všech kategorií určit přesný typ (docházelo k vzájemnému mixování). Vizuálně bylo z těchto snímků s jistotou možné identifikovat pouze rozsáhlejší lesní porosty (Brdy) a vodní plochy (Lipno). Také některá velká města (Praha, České Budějovice) byla dobře rozpoznatelná. Největším problémem byla přesná identifikace zemědělských plodin. Výjimkou byla pouze řepka olejka, která byla jako jediná velmi dobře patrná již přímo na originálním snímku (3. květen 2009). Díky těmto skutečnostem byly v ostatních případech využity spektrální křivky odrazivosti.

Výsledky, kterých bylo dosaženo, poukazují na skutečnost, že u některých kategorií, jako jsou například lesy či zástavba nebyla pozorována větší změna v jejich spektrálních chováních v průběhu roku. Pouze u listnatých lesů byl v dubnu a v listopadu zaznamenán výrazný pokles křivky (Obr. č. 18). Jelikož jsou touto dobou listnaté stromy holé, nevyskytuje se zde ani klíčové pletivo mezofyl a záření je tak odráženo méně. Do výsledné křivky odrazivosti se tak promítne patrně nejvíce odrazivost půdy, která mezi holými stromy prosvítá. Pokud by bylo k dispozici více snímků z podzimního období (říjen - listopad), bylo by možné postupně sledovat měnící se barvu listů a ztrátu chlorofylu. Podobně je tomu i u lesů smíšených (Příloha 1). Křivka má díky úbytku listů nižší odrazivost v NIR, ale nevypadá jako křivka charakterizující holou půdu, jako je tomu u lesů listnatých. V těchto měsících tuto křivku ovlivní i několik jehličnatých stromů, u kterých se odrazivost se během roku nemění (Příloha 1). Jelikož jehličnaté stromy neopadávají a vypadají celý rok téměř stejně, ani jejich odrazivost se nemůže během roku měnit. Díky jehlicím, které mají menší plochu než listy, sice vykazují nižší odrazivost než lesy listnaté, zato však odrazivost během vegetačního období stálou.

Z grafů lesních porostů je dále patrné, že se podařilo prokázat teorii, která byla popsána v kapitole 3.2.1. A to, že se lesní porosty ve viditelném spektru nedají rozeznat (Obr. č. 15). Důvodem je chlorofyl, který obsahují jak jehličnaté tak listnaté lesy. Naopak průběh křivky v infračervené části spektra již s chlorofylem příliš nesouvisí, proto se zde křivky začínají lišit. Odrazivost v této části je ovlivněna hlavně buněčnou strukturou listů. Jelikož jehlice mají mnohem menší plochu než listy, je odrazivost jehličnatých lesů v NIR mnohem nižší.

K nejzajímavějším výsledkům došlo u kategorií se zemědělskými plodinami. Nejlépe se podařilo charakterizovat vývoj řepky olejky. Na grafu (Obr. č. 17), kde je zobrazeno její spektrální chování, je dobře patrný vegetační cyklus této plodiny. Díky relativně teplému a

velmi deštivému březnu, kdy se teploty držely kolem 10 stupňů Celsia, bylo již na počátku dubna možné rozeznat na polích zelené rostlinky. Kromě spektrální křivky toto tvrzení potvrzuje i pohled na družicový snímek.

Řepka olejka začala v loňském roce kvést na počátku května a dokvétala na začátku června. Tomu odpovídají i křivky ve výsledném grafu. Na počátku května je na vlnové délce v intervalu 540-600 nm patrná zvýšená odrazivost. Vrchol na vlnové délce 540-570 nm, odpovídá zelenožluté až žluté barvě. Ta je právě typickou barvou pro květy řepky olejky. Na konci května již některá řepková pole mohou pomalu ztrácet svoji typickou žlutou barvu a mezi žlutými květy začne prosvítat zelená rostlina. Proto se i ve viditelném spektru odrazivost sníží a křivka má tvar typický pro spíše zelenou rostlinu, s nejvyšším vrcholem na 550 nm. V NIR téměř k žádné změně nedochází, jelikož i na počátku května má rostlina pod svými žlutými květy zelené okvětní lístky, a sluneční záření je díky pletivu mezofyl odraženo v obou případech prakticky stejně.

Na snímku ze 14. června byla řepka již po odkvětu, tedy pole byla zcela zelená. Odpovídá tomu i její spektrální křivka. Naopak během července, kdy řepka dozrává a také se začíná sklízet, se tvar křivky opět velmi změnil. Jelikož řepka před sklizní je téměř k nerozeznání od obilovin, křivka má stejný tvar jako křivka obilovin. Je také velmi pravděpodobné, že v době pořízení snímku (22. července) byla již některá pole sklizená a místo zralé řepky zde již byla půda bez vegetace. Jelikož mezi 14. červnem a 22. červencem nebyl k dispozici žádný snímek, nebylo tak možné více pozorovat postupnou změnu.

Je zvykem, že po sklizni jsou tyto pole oseta znovu, například různými krmnými plodinami. Proto křivka v srpnu opět připomíná odrazivost vegetace. Při pohledu na snímek z 20. srpna byla tato teorie potvrzena. Čtyři z pěti vzorových polí s řepkou olejkou měly světle zelenou barvu, což naznačuje, že zde opět začínala klíčit nová plodina. Zbýlé jedno pole zůstávalo nadále holé. Jeho odrazivost se tak v srpnu vůbec nezměnila a do grafu pak nebylo započítáno. Během září byla postupně všechna pole sklizena a křivka postupně získávala tvar typický pro holou půdu. Ze snímku z 8. září bylo patrné, že nově oseté pole nacházející se v úrodné oblasti Benátek nad Jizerou bylo sklizeno nejdříve. Zatímco pole nacházející se v oblasti tzv. České Sibiře bylo sklizeno až později. Je zřejmé, že na průběh růstu a sklizně nových plodin měl vliv i druh plodiny a čas jejího setí, což ovšem nebylo možné z dostupných snímků poznat. Mezi snímky z července (22. 7.) a srpna (20. 8.) byl velký časový rozdíl, tedy vývoj vybraných oblastí v tomto období nebyl bohužel znám.

Co se týče obilovin (Obr. č. 16), měnící se spektrální křivky odpovídají vývoji rostliny. Od počátku května až do června se odrazivost mění pouze v blízkém infračerveném spektru. Po celou tuto dobu se zelená rostlina postupně vyvíjí, její sazenice rostou a plocha stébel se zvětšuje. Díky pletivu mezofyl se tak v NIR postupně zvyšuje odrazivost. Mezi koncem května a červnem není rozdíl příliš patrný, jelikož snímky zde byly pořízeny v intervalu 14 dní.

V červenci již většina obilovin dozrává, a zelenou barvu proto ztrácí. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo získat snímky z období od 14. června do 22. července, nebylo možné určit spektrální chování zrajícího obilí a sledovat tak postupnou změnu. Červencová spektrální křivka pak již odpovídá stárnoucímu obilí (Serrano, 2000), i když jako u řepky olejky, i zde mohla být v červenci některá pole již sklizená. Srpnová křivka již jistě charakterizuje holou půdu.

Jak již bylo řečeno, během zpracování křivek odrazivosti byly na červencových a srpnových snímcích rozlišeny trvalé travní porosty. Na snímku z června tento druh nebylo možné odlišit, jelikož splýval s kategorií Smíšené plodiny. Travní porost a nejruznější pole vypadají v tuto roční dobu velmi podobně. Od obilovin je možné je rozeznat, jelikož pole s obilovinami bývají velmi hustě oseta a v NIR tak vykazují mnohem větší odrazivost. K rozlišení však došlo hned v následujících měsících, kdy na rozdíl od ostatních kategorií tyto křivky tvar neměnily (Příloha 2). Jedinou menší změnou, která byla v této kategorii pozorována, bylo mírné snížení odrazivosti v dubnu a listopadu (Příloha 3). Důvodem je nižší intenzita růstu travních porostů v těchto měsících. Ze spektrálních křivek je také patrné, že v tuto dobu teprve nabývá nebo naopak ztrácí travní porost zelenou barvu a tím typický vrchol odrazivosti na vlnové délce 560 nm není zřetelný tolik, jako v jiných měsících.

Zajímavý průběh křivky můžeme pozorovat u kategorie Ostatní plodiny (Příloha 5). Protože nebylo předem známo, jaké plodiny budou na jednotlivých polích pěstovány, byly některé druhy odvozeny z průběhů jejich spektrálních křivek anebo z jednotlivých snímků. Na této kategorii je specifické, že její spektrální křivka vykazuje až do června odrazivost pro holou půdu. Není pravděpodobné, že by na nějaké zemědělské půdě byla holá půda téměř až do 14. června, kdy byl snímek pořízen. Právě zakřivení červnové spektrální křivky se teprve mírně blíží k typickému zakřivení křivky reprezentující vzrostlou vegetaci. Je možné se tedy domnívat, že daná pole byla oseta řídce, a jednotlivé, v té době nejspíše málo vzrostlé plodiny (kukuřice, brambory) měly mezi sebou dostatek volného prostoru. Oblast se tedy z letové výšky družice může i na konci jara jevit jako holá půda. Že se jedná o zemědělsky osetou půdu, potvrzují již křivky z července a srpna. Na nich je patrný postupný růst plodiny, který dosahuje maxima na konci srpna, popřípadě počátku září. Zde je vidět rozdíl mezi touto kategorií plodin a například obilovinami či řepkou olejkou, které jsou na konci srpna již sklizené. Na těchto místech na konci září již všechny křivky vykazují výrazný úbytek chlorofylu i zdravého listoví. Je možné usuzovat, že se jedná o plodiny, které se sklízí až během pozdního léta či na začátku podzimu. Mohlo by se tedy opravdu jednat o kukuřici či brambory. Jelikož se však toto můžeme jen domnívat, v textu bude nadále používáno označení Ostatní plodiny. Spektrální chování v listopadu je již zcela totožné jako u jiných zemědělských plodin. V tuto roční dobu jsou všechna pole již holá a křivka tomu odpovídá.

Co se zemědělských ploch týče, nejvíce problémů bylo s charakteristikou kategorie Smíšené plodiny. Do této kategorie byla zařazena čtyři pole, která nijak nespádala do rozpoznávaných

kategorií. Spektrální projevy nevykazují žádné výraznější výkyvy, proto nebylo možné druhy rozpoznat (Příloha 6). Je velice pravděpodobné, že se zde mixovalo několik typů plodin a nemohla se tak projevit žádná charakteristická vlastnost.

Žádná větší rozmanitost nebyla zaznamenána u spektrálních křivek charakterizující zástavbu, tedy centrum hlavního města Prahy (Příloha 7). Během roku zde nedochází k žádným velkým změnám, proto se ani tvar spektrální křivky nemění. Zde je situace podobná jako u jehličnatých lesů. Tvar spektrální křivky je možné porovnat s křivkou reprezentující holou půdu, s téměř nezatelným vlivem vegetace. V tzv. „red edge“ je na křivkách z vegetačního období (květen – září) patrný jen velmi mírný nárůst. To je možné vysvětlit absencí větších ploch s vegetací v centru Prahy, kterou by mohl spektrometr s rozlišovací schopností 300 m rozeznat celou. Jediné, co je možné na výsledných křivkách pozorovat, je snížení či zvýšení odrazivosti. To je patrně zapříčiněno různou vlhkostí půdy během roku.

Na vybraných vodních plochách jsou již patrné rozdíly. I když relativně čistá vodní nádrž Lipno, vykazuje během roku poměrně stálou spektrální odrazivost (Příloha 4), tvar křivky se od vody mořské, která byla vybrána pro srovnání, přesto liší. Tvar spektrální křivky mořské vody již mnohem více odpovídá křivce popsané v teoretické části. Důvodem je mnohem větší čistota mořské vody.

Ze spektrální odrazivosti Horusického rybníka je patrná jeho ještě větší eutrofizace. Odpovídá tomu i maximum dosažené v zelené části spektra (Příloha 4). Na většině křivek je vidět i zvýšení odrazivosti v tzv. „red edge“, což je typické právě pro vegetaci. Takto znečištěné vodní plochy byly již rozpoznatelné na samotném družicovém snímku, kdy v klasickém RGB modelu byla plocha Horusického rybníka zcela zelená. (V tomto případě nedošlo k mixování s okolní vegetací, protože Horusický rybník znatelně překračuje rozlišení spektrometru, a byl tedy reprezentován několika pixely. Aby se předešlo mixování s okolní vegetací, probíhalo měření v jeho středu). Tyto výsledky naznačují, že použití MERIS se jeví jako vhodné i k monitorování vodních ploch, kdy je možné využít metodu spektrální odrazivosti při sledování míry jejich znečištění. Na zářijových snímcích byly sledované plochy pokryté oblačností, nebylo proto možno spektrální odrazivost zjistit. Je však velmi pravděpodobné, že by se příliš nelišila od křivek ostatních, převážně od křivek srpnových.

Dosažené výsledky poukazují na velký potenciál této metody. Aby však byly výsledky co nej přesnější a nejvěrohodnější, bylo by zapotřebí více bezoblačných snímků, převážně ve vrcholném vegetačním období. Také více snímků v období podzimním a zimním, by umožnilo sledování případných změn ve vegetačním klidu. Letošní dlouhodobá sněhová pokrývka také znemožnila monitorování vegetačního povrchu na začátku roku 2010. Bohužel tuto skutečnost, spolu s oblačností, nelze nikdy ovlivnit.

Z metody Spectral unmixing je zřejmé, že nejlepších výsledků bylo dosaženo u lesních porostů (Obr. č. 19). Na samotném dubnovém snímku (Příloha 8) jsou lesní porosty velmi zřetelné, proto i křivka spektrální odrazivosti byla určena s velkou přesností. To se pak projevilo ve zmíněné metodě. Lesní porosty jsou dobře rozeznatelné i na klasifikovaném snímku (Příloha 10) a výřezu pořízeném z Corine (Příloha 11).

Pomocí spektrálních křivek byly od ostatních druhů krajinného pokryvu také velmi dobře odděleny vodní plochy. Jelikož spektrální křivka vodních ploch měla podobný tvar jako spektrální křivka zástavby (téměř konstantní, bez zřetelných výkyvů), výsledek zahrnuje obě tyto kategorie (Příloha 9). Naopak při neřízené klasifikaci byly vodní plochy zcela zahrnuty k lesním porostům. Důvodem byla především vzájemná blízkost ploch lesních porostů a vodních ploch (méně než kilometr). Neřízená klasifikace, založená na předpokladu, že jednotlivé pixely, které jsou blízko sebe, patří do jedné třídy, pak vytvořila z těchto dvou skupin pouze jednu. Jelikož ale neřízená klasifikace oddělila zastavěnou půdu, je možné z obou výsledků zástavbu i vodní plochy rozeznat. Kontrolou pak může být vrstva Corine, kde jsou tyto třídy samozřejmě dobře odděleny.

Při pohledu na původní snímek je zřejmé, kde se nachází holá půda, a kde půda s vegetací. Díky barevné syntéze v nepravých barvách (kombinace pásem 10, 5, 2) se zelená vegetace zobrazuje červenou barvou. Je patrné, že větší množství tohoto vegetačního pokryvu se nachází v jižní části snímku, což potvrzuje i výsledek ze SU (Příloha 9). Také výsledek neřízené klasifikace poukazuje na výskyt této třídy v jižní části snímku (Příloha 10).

Syntéza (Red - 10, Green - 5, Blue -2) v nepravých barvách jasně poukazuje na výskyt půdy bez vegetace (2. dubna 2009). Největší množství je patrné na území okolo Prahy a ve střední části snímku. Na tomto místě bylo dosaženo i nejlepšího výsledku, což potvrzuje i neřízená klasifikace. I zde se ale mírně projevila podobnost spektrální křivky holé půdy a zástavby, kdy je na ve výsledku SU zahrnuta i část Prahy.

Ze všech čtyř výsledků pořízených metodou Spectral unmixing je patrné, že nejvíce je metoda vhodná k oddělení lesních porostů a vodních ploch (společně se zástavbou).

Při celkovém pohledu na všechny dosažené výsledky bylo zjištěno, že kvůli nepříliš velkému rozlišení snímků MERIS by přesnější výsledky bylo dosaženo při zkoumání rozsáhlejších a homogennějších oblastí, než dovoluje zemědělská půda na území našeho státu. Jen málokterá zemědělská oblast v naší republice výrazně přesahuje prostorové rozlišení MERIS. To pak samozřejmě negativně ovlivňuje dosažené výsledky. Z toho vyplývá, že v našich podmínkách jsou snímky MERIS nejvhodnější k monitorování lesních porostů. K určování zemědělských plodin by bylo zapotřebí referenčních dat z pozemního měření.

V příštích studiích by snímky MERIS mohly být využity také pro monitorování oblastí v jiných částech světa. Bylo by tak možné získat podklady pro popis spektrálních chování i

jiných rozšířených druhů zemědělských plodin a vegetace (rýže, tabák aj.). Jako další možnost využití této metody vidím ve sledování změn v osevních postupech. Při znalosti spektrálních chování určitých plodin by dlouhodobým monitorováním rozsáhlých zemědělských oblastí bylo možné zjistit, jaké plodiny se na vybraných oblastech pěstují, a jestli jsou osevní postupy dodržovány.

8.1 Odpovědi na hypotézy

Výsledky práce dávají jednoznačné odpovědi také na hypotézy, zvolené v úvodní části práce. Je patrné, že většinu hypotéz se podařilo potvrdit. Jehličnaté lesy byly od listnatých úspěšně rozeznány, stejně tak se podařilo oddělit i lesy smíšené. Tyto výsledky také jednoznačně podporují myšlenku, o využití snímků MERIS na zalesněných územích.

Co se týče zemědělských plodin, zde by se dalo říci, že hypotéza nebyla vyvrácena, ale ani zcela potvrzena. Určité druhy plodin bylo možné použitím těchto snímků rozeznat, avšak úspěšnost nebyla stoprocentní. Snímky dovolily rozpoznat ty plodiny, které se na našem území pěstují ve větším množství a na rozlehlejších lánech (řepka olejka, obiloviny). K určení spektrálních chování jiných druhů vegetace provedená analýza nestačila.

Jelikož původním posláním spektrometru MERIS je monitorování mořských oblastí, není překvapivé, že kvalitních výsledků bylo dosaženo u sledování vodních ploch. Rozeznat eutrofizované vodní plochy (Horusický rybník), od vod relativně čistých (vodní nádrž Lipno) se podařilo zcela jednoznačně, a hypotéza tak byla potvrzena.

Při neřízené klasifikaci bylo zvolené území úspěšně klasifikováno do čtyř tříd. Díky zvolené metodě klasifikace některé třídy zahrnovaly více druhů krajinného pokryvu. Při zvolení většího počtu tříd byl ale výsledek velmi nejednoznačný. Rozlišení MERIS tedy dovoluje snímek klasifikovat, ovšem z výsledného produktu je možné vyčíst pouze základní prvky krajinného pokryvu. Program BEAM bohužel neposkytuje žádné číselné výsledky na zhodnocení přesnosti této metody. Větších podrobností by bylo dosaženo pouze se snímkem s kvalitnějším prostorovým rozlišením, či použitím jiného algoritmu.

KAPITOLA 9

Závěr

Aktuální a věrohodné informace o změnách ve využití a pokryvu půdy jsou potřebné nejen pro zemědělské ale i pro jiné environmentální studie. Proto bylo cílem této práce pokusit se dostupná data ze spektrometru MERIS využít právě k těmto účelům. Předmětem zkoumání bylo sledovat vybraná území během jednoho vegetačního období, a pokusit se klasifikovat jednotlivá území do jedné ze tříd vegetačního povrchu.

Z výsledků práce je patrné, že snímky MERIS mohou být k těmto účelům využity, avšak kvůli rozlišení 300 m x 300 m dovolují zkoumat jen rozsáhlá a homogenní území. S největší přesností tak byly určeny spektrální křivky lesních porostů, které zpravidla vyhovovaly prostorovým požadavkům MERIS. Tyto oblasti byly také vizuálně rozeznatelné na zkoumaných snímcích, což usnadnilo jejich přesné určení. Tato skutečnost byla potvrzena i použitím metody „Spectral unmixing“, kdy byly za použití spektrálních křivek několika druhů krajinného pokryvu ze snímku nejlépe odděleny také lesní porosty. Ze zemědělských plodin byla pro sledování spektrálních chování nejvhodnější řepka olejka, kterou bylo s jistotou možné určit také přímo ze snímků MERIS.

I když by bylo možné použitím více snímků či monitorováním rozsáhlejších území dosáhnout přesnějších výsledků, byla i tak většina ze zvolených hypotéz potvrzena, což vypovídá o možném potenciálu ve využití dat MERIS.

Z celé práce je patrné, že technické parametry (prostorové rozlišení) nedovolují při práci na území našeho státu dosáhnout zcela přesných výsledků. Při zachování současných technických parametrů by v budoucnu bylo možné tato data použít pouze při monitoringu rozlehlých území.

SEZNAM ZDROJŮ A INFORMACÍ

- [1] BRODSKÝ, L., et al. Supervised Crop Classification From Middle-Resolution Multitemporal Images. *Proc. of the "2nd MERIS / (A)ATSR User Workshop", Frascati, Italy 22-26 September 2008 (ESA SP-666, November 2008)*.
- [2] CAMPBELL, J. B., *Introduction to remote sensing* 1.vyd. New York: The Guilford Press, 1987. 551s. ISBN: 0-89862-776-1.
- [3] CLEVERS, J., et al. Land cover classification with the Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS). *EARSeL eProceedings* [online]. 2004, vol. 3, no. 3, [cit. 2010-04-09]. Dostupný z WWW: <http://www.e proceedings.org/static/vol03_3/03_3_clevers1.pdf>. ISSN 1729-3782.
- [4] COCHRANE, M. A. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*. 2000, vol. 21, no. 10, s. 2075-2087.
- [5] *Envisat Product Handbooks* [online]. c2000-2010 [cit. 2010-05-08]. Earthnet Online. Dostupné z WWW: <<http://envisat.esa.int/handbooks/>>.
- [6] HUOT, J.-P., et al. The Optical Imaging Instruments and Their Applications: AATSR and MERIS. *ESA bulletin* [online]. June 2001, 106, [cit. 2010-05-18]. Dostupný z WWW: <http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet106/bul106_4.pdf>.
- [7] JENSEN J. R. *Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 2004. Subpixel Classification (Linear Spectral Unmixing), s. 453-455. ISBN 0131453610.
- [8] KNIPLING, E. B. Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1970, 1, s. 155-159.
- [9] KOLÁŘ, J. *Dálkový průzkum Země. (přednáška)* Praha : UK v Praze. Přírodovědecká fakulta, 5.10.2009 – 6.1.2010.

- [10] KOLÁŘ, J. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 176 s. ISBN: 80-03-00517-5.
- [11] KOLÁŘ, J. *Informační služby s využitím pozorovacích družic*. Studie. Praha, 2008. 55 s. ISBN: 978-80-904163-4-5
- [12] KOLÁŘ, J. *Principy fungování a využívání pozorovacích satelitů*. Studie. Praha, 2008. 62 s. ISBN: 978-80-904163-5-2.
- [13] KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země 10*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996. 164 s. ISBN: 80-01-01567-X
- [14] LILLESAND, T. M., KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 3.vyd. New York: Wiley, 1994. 750 s. ISBN: 0-471-57783-9.
- [15] LYSONĚK, V., AUGUSTA, L. 2008. *DPZ-Dálkový průzkum Země*. [elektronický zdroj]. Ostrava, poslední aktualizace 3. 8. 2008. Dostupné také z: http://wiki.cs.vsb.cz/images/c/c9/DPZ_Lysonek_Augusta.pdf
- [16] MATHER, P. M. *Computer Processing of Remotely Sensed Images*. Chichester : Wiley, 2004. Classification, s. 167-209. ISBN 0-470-84919-3.
- [17] PETROU, M.; FOSCHI, P. G. Confidence in Linear Unmixing of single Pixels. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* [online]. 1999, 37, 1, [cit. 2010-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.clas.ufl.edu/lueci/southworth/RS-class-advanced/Discussion-readings/Patenaude%20et%20al%202005.pdf>>.
- [18] *Satellite Imagining Corporation* [online]. 2001-2010 [cit. 2010-05-18]. Sensor Used in Satellite Imagining. Dostupné z WWW: <<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors.html>>.
- [19] SEILER, R.; CSAPLOVICS, E. Analysis of Landcover Dynamics in the Niger Inland Delta Using Meris Full Resolution Data. *Proc. of the "2nd MERIS / (A)ATSR User Workshop", Frascati, Italy 22-26 September 2008 (ESA SP-666, November 2008)*.
- [20] SERRANO, L., FILELLA, I., PENUELAS, J. Remote Sensing of Biomass and Yield of Winter Wheat under Different Nitrogen Supplies. *Crop Science* [online]. 2000, 40, 3, [cit. 2010-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://rop.sciijournals.org/cgi/reprint/40/3/723>>.

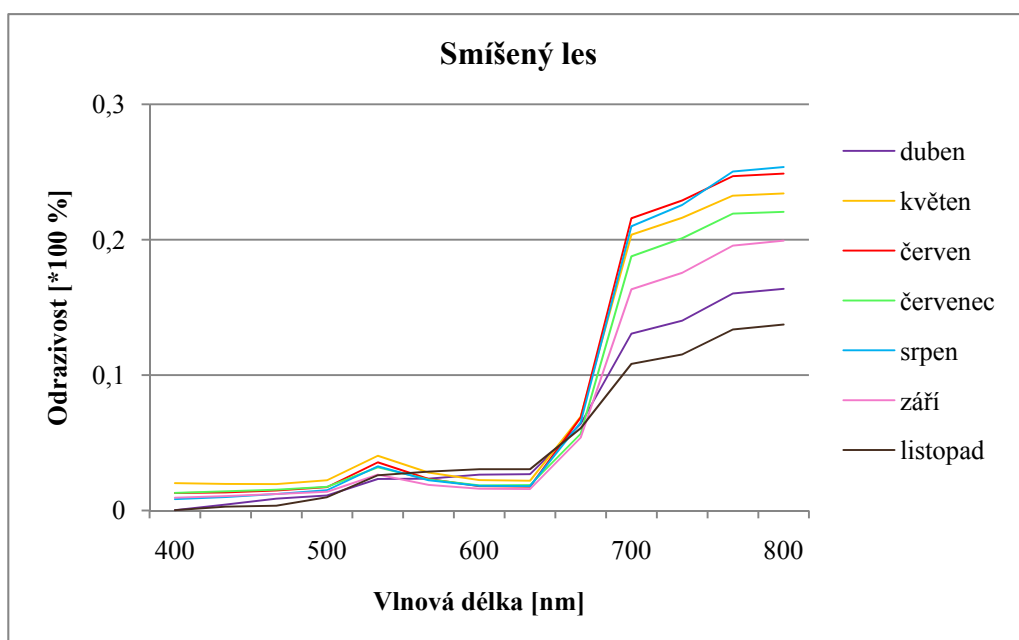
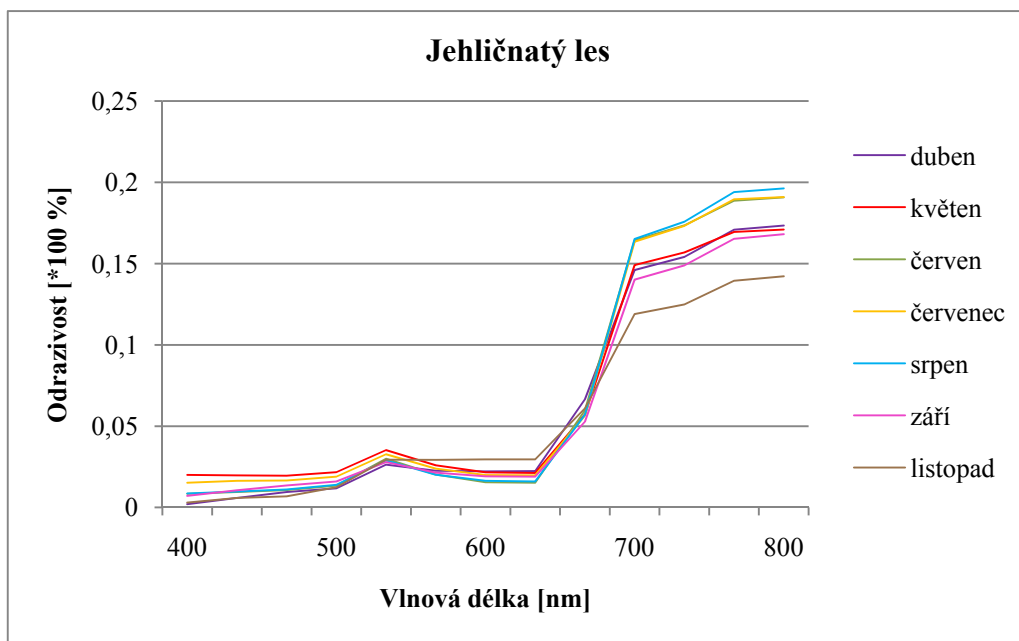
- [21] SCHEJBAL, C., HOMOLA, V., STANĚK, F. *Geoinformatika*. Košice: Pont, 2004. 229 s. ISBN: 80 967611-8-8. Dostupný z: <<http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/>>.
- [22] SPINETTI, C., et al. Mt. Etna Volcanic Aerosol and Ash Retrievals using Meris and AATSR Data. *Proc. of the "2nd MERIS / (A)ATSR User Workshop", Frascati, Italy 22-26 September 2008 (ESA SP-666, November 2008)*.
- [23] *Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing* [online]. Canada Centre for Remote Sensing, 2007-09-25 [cit. 2010-01-03]. Educational material. Text v angličtině. Dostupný z: http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php
- [24] *University of Leicester* [online]. 20. 08. 2008 [cit. 2010-05-18]. AATSR: What is AATSR. Dostupné z WWW: <<http://www.leos.le.ac.uk/aatsr/whatis/index.html>>.
- [25] VERBYLA, D. L., *Satellite remote sensing of natural resources*. 1.vyd. Florida: CRC Press LLC, 1995. 198 s. ISBN: 1-55670-107-4.
- [26] VERSTRAETE M. M., PINTY B., MERIS potential for land applications. *Introduction to remote sensin.* 1999, vol. 20, no. 9, s. 1747 -1756
- [27] *What are the uses and hazards of waves that form the Electromagnetic Spectrum?* [online]. 4. 11. 2008 [cit. 2010-01-03]. Dostupný z: <http://www.antonineeducation.co.uk/physics_gcse/Unit_1/Topic_5/topic_5_what_are_the_uses_and_ha.htm>.
- [28] YANG, C.; EVERITT, J. H.; BRANDFORD, J.M. Using multispectral imagery and linear spectral unmixing techniques for estimating crop yield variability. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* [online]. 2007, 50, 2, [cit. 2010-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/10735/1/IND44014719.pdf>>.
- [29] ZURITA-MILLA, R., et al. Monitoring Vegetation Dynamics Using MERIS Fused Images. *Proc. of the "2nd MERIS / (A)ATSR User Workshop", Frascati, Italy 22-26 September 2008 (ESA SP-666, November 2008)*.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1	Spektrální charakteristika jehličnatého a smíšeného lesa
PŘÍLOHA 2	Porovnání vybraných spektrálních projevů (květen – červenec)
PŘÍLOHA 3	Spektrální charakteristika trvalých travních porostů
PŘÍLOHA 4	Spektrální charakteristika vodních ploch
PŘÍLOHA 5	Spektrální charakteristika kategorie Ostatní plodiny
PŘÍLOHA 6	Spektrální charakteristika kategorie Smíšené plodiny
PŘÍLOHA 7	Spektrální charakteristika hl. města Praha
PŘÍLOHA 8	Snímek MERIS, 2. dubna 2009
PŘÍLOHA 9	Výsledky metody Spectral unmixing
PŘÍLOHA 10	Výstup z neřízené klasifikace
PŘÍLOHA 11	Výřez sledovaného území z databáze Corine Land cover
PŘÍLOHA 12	Seznam použitých snímků
PŘÍLOHA 13	Rozhraní programu BEAM
PŘÍLOHA 14	Tabulka vybraných družic s vysokým časovým rozlišením
PŘÍLOHA 15	CD s elektronickou verzí práce

PŘÍLOHA 1

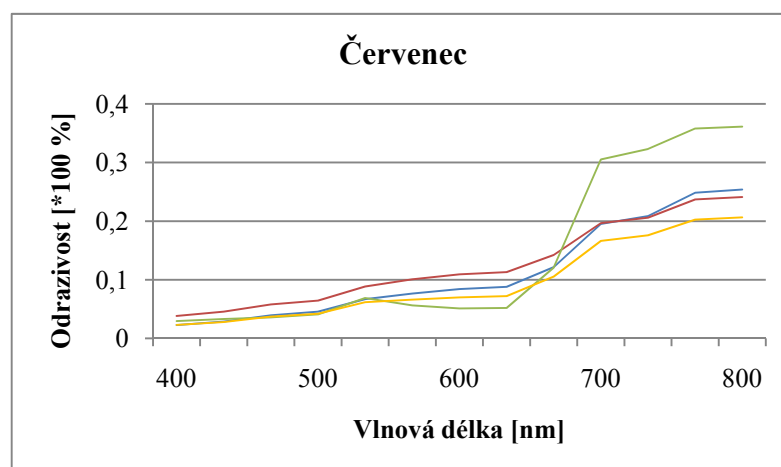
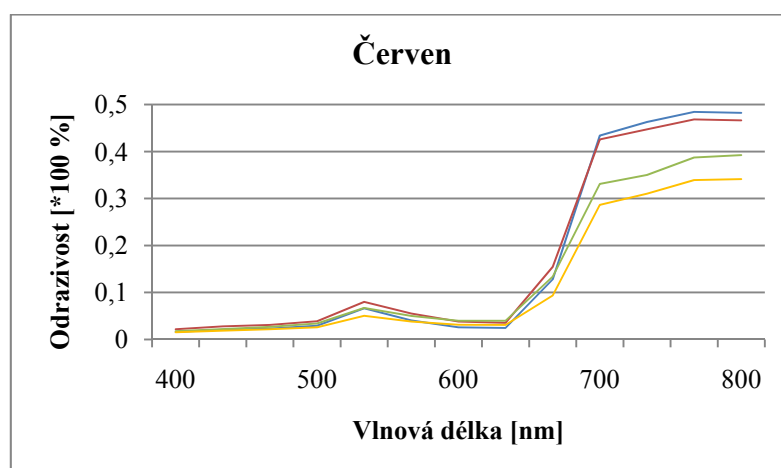
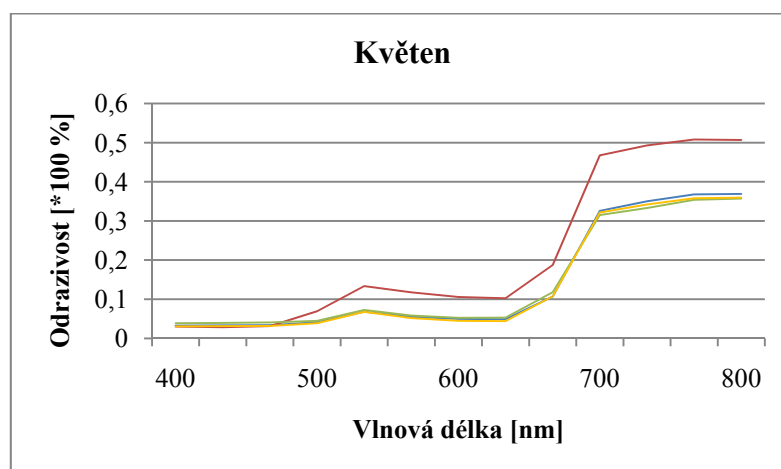
Spektrální charakteristika jehličnatého a smíšeného lesa



PŘÍLOHA 2

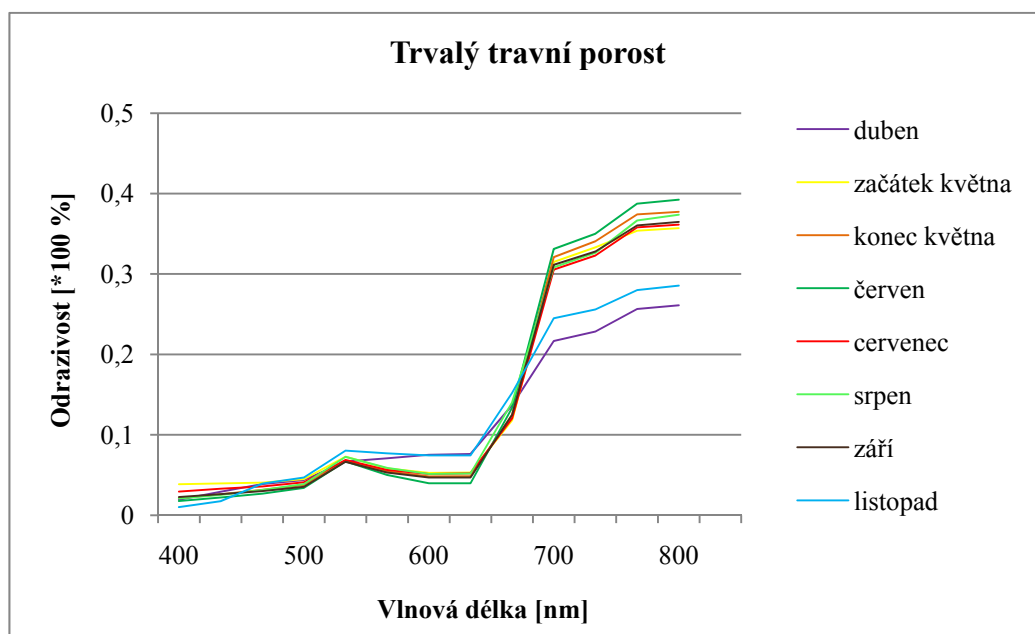
Porovnání vybraných spektrálních projevů (květen – červenec)

Obiloviny, Řepka olejka, Trvalý travní porost a Smíšené plodiny



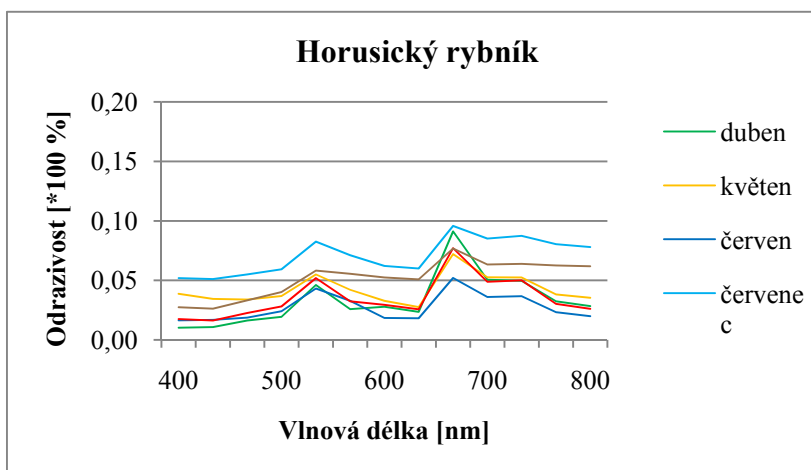
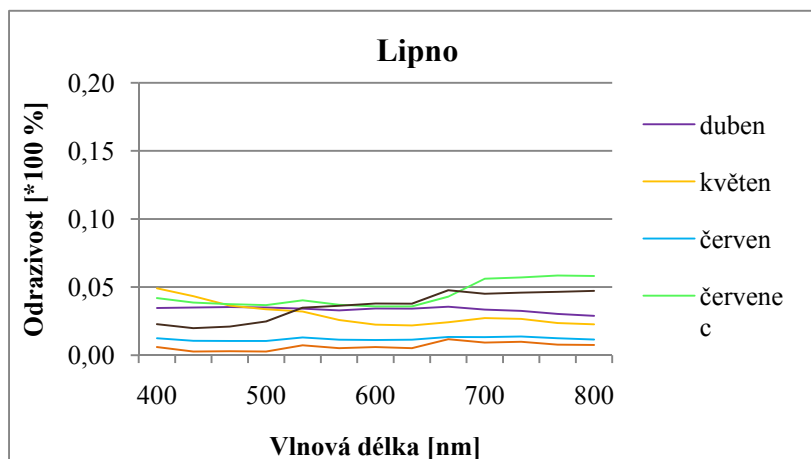
PŘÍLOHA 3

Spektrální charakteristika trvalých travních porostů



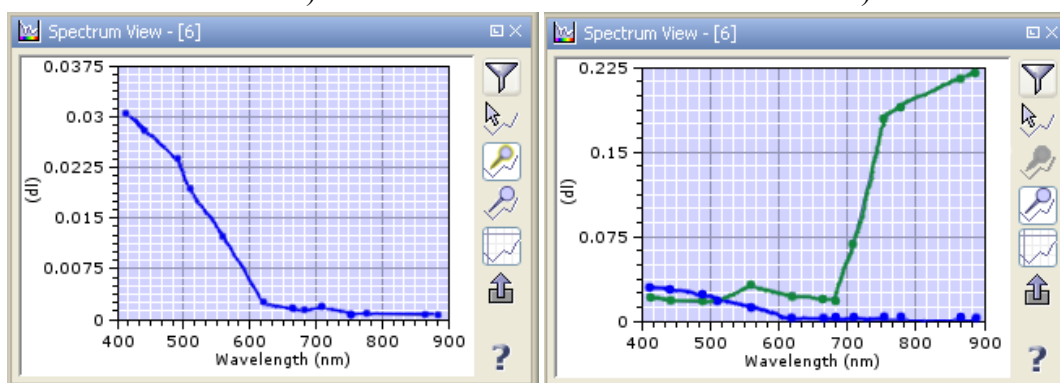
PŘÍLOHA 4

Spektrální charakteristika vodních ploch



a)

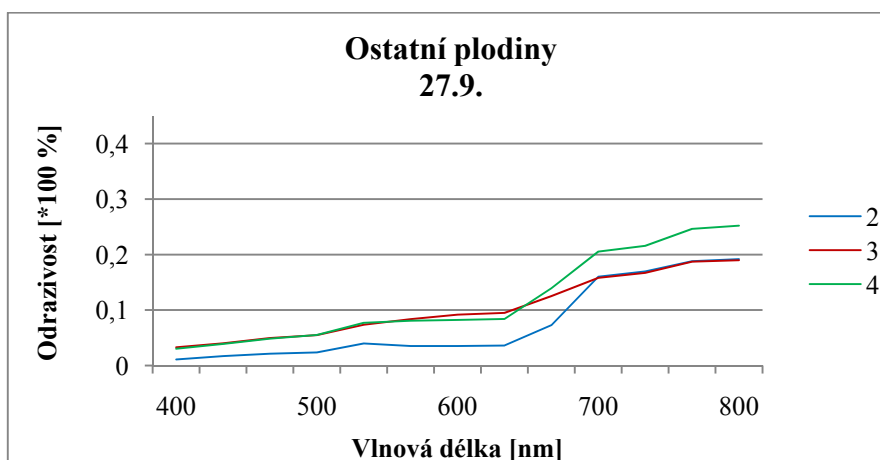
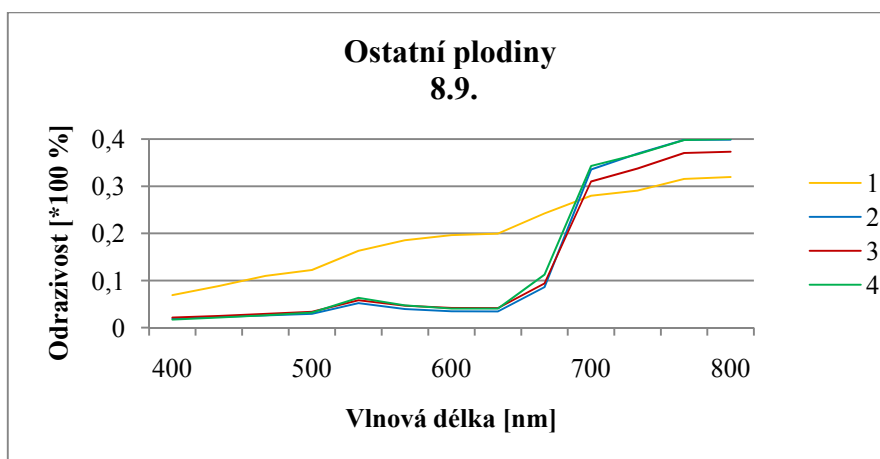
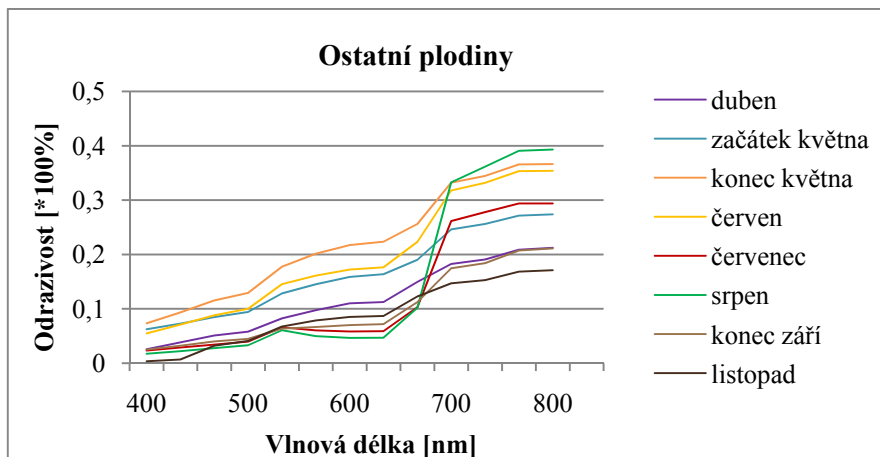
b)



a) spektrální křivka mořské vody, b) srovnání spektrální křivky vegetace a mořské vody

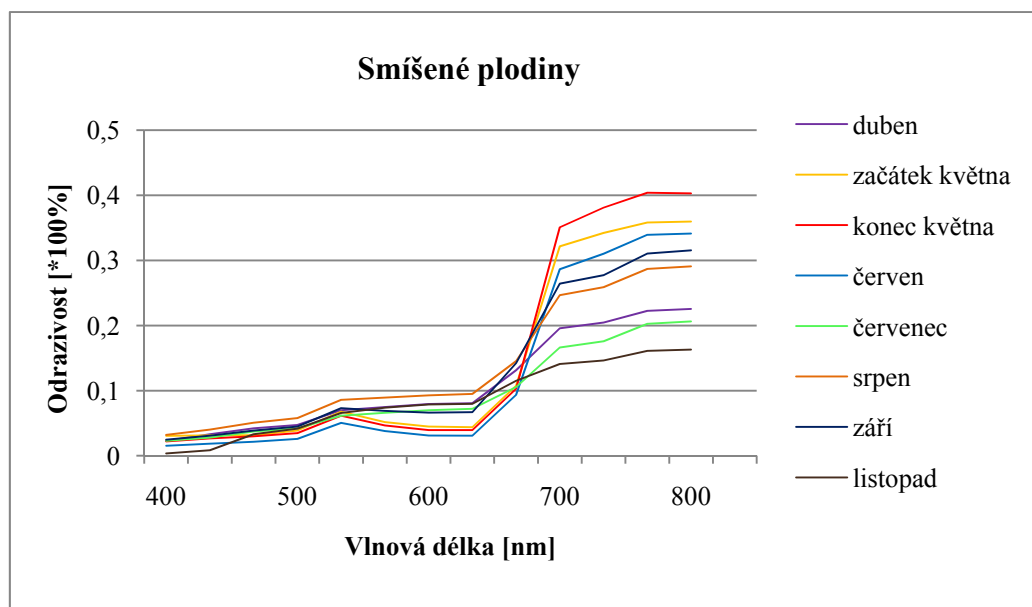
PŘÍLOHA 5

Spektrální charakteristika kategorie Ostatní plodiny



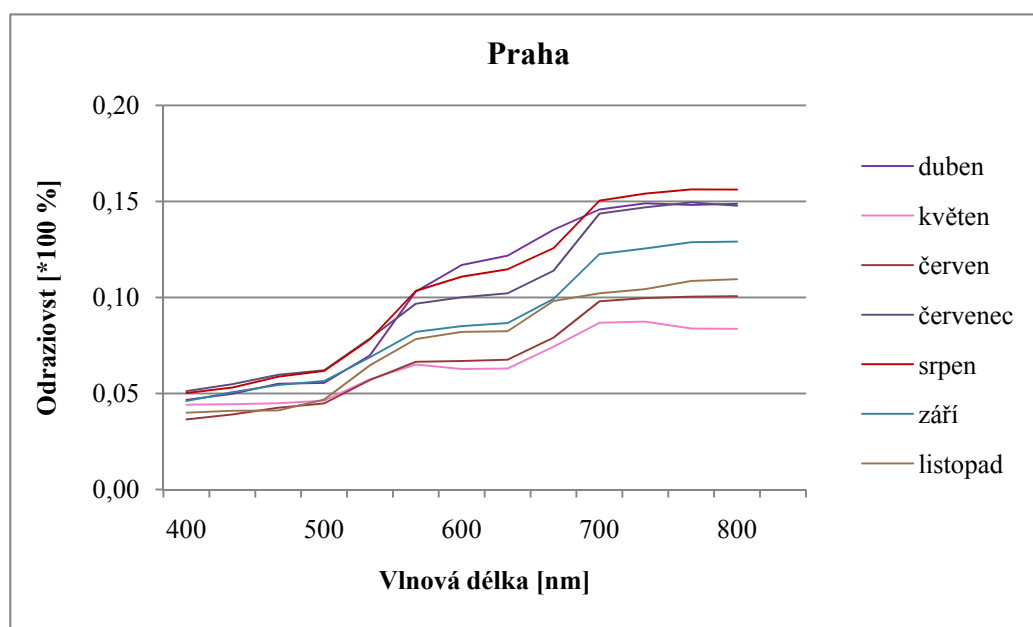
PŘÍLOHA 6

Spektrální charakteristika kategorie Smíšené plodiny



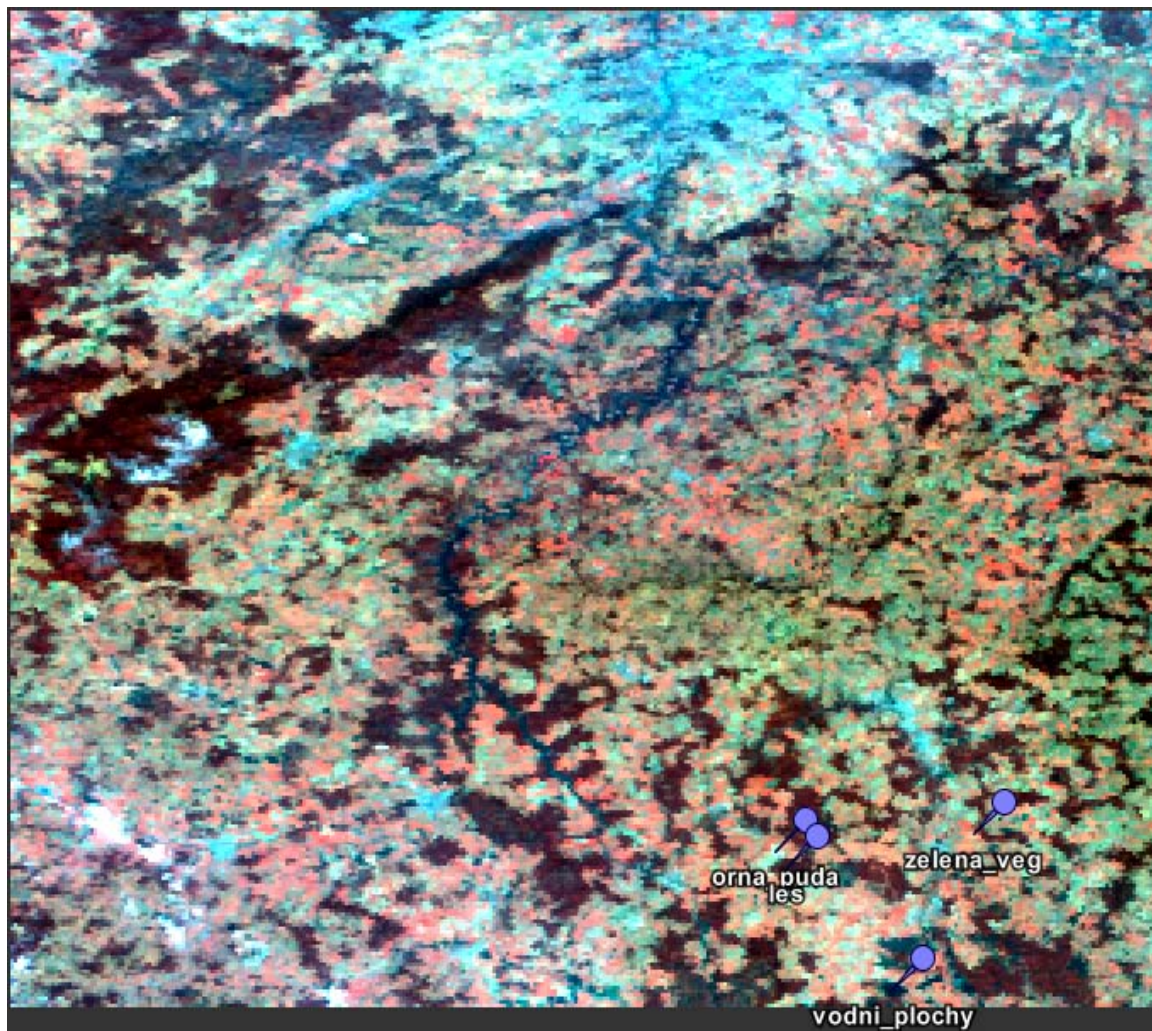
PŘÍLOHA 7

Spektrální charakteristika hl. města Praha



PŘÍLOHA 8

Snímek MERIS, 2. dubna 2009



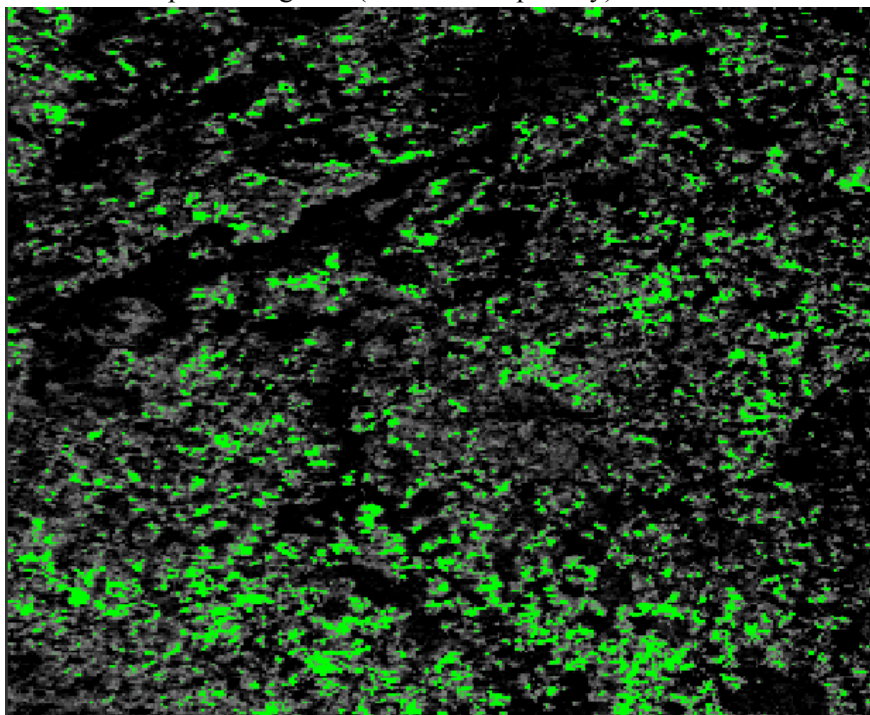
Snímek zahrnuje území ohraničené severně Prahou, západně Brdskými lesy, východně hranicí kraje Vysočina a jižně lesy u Hluboké nad Vltavou

Snímek zachycující modelové území, na kterém byla vyzkoušena metoda „Spectral unmixing“. Pro lepší rozlišení jednotlivých vegetačních prvků byl snímek vyobrazen syntézou v nepravých barvách: Red - 10, Green - 5, Blue -2.

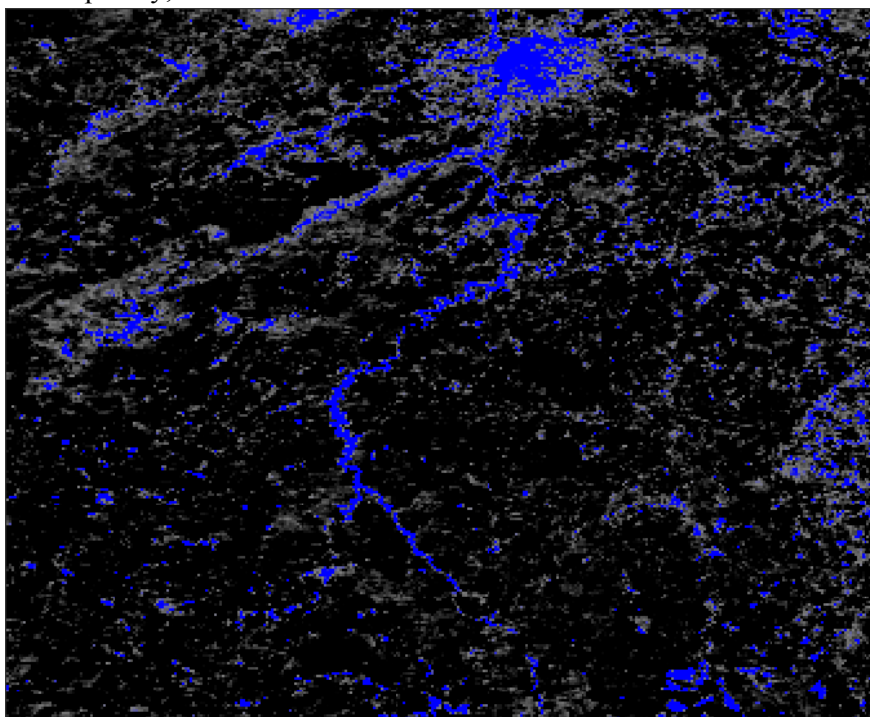
PŘÍLOHA 9

Výsledky metody Spectral unmixing

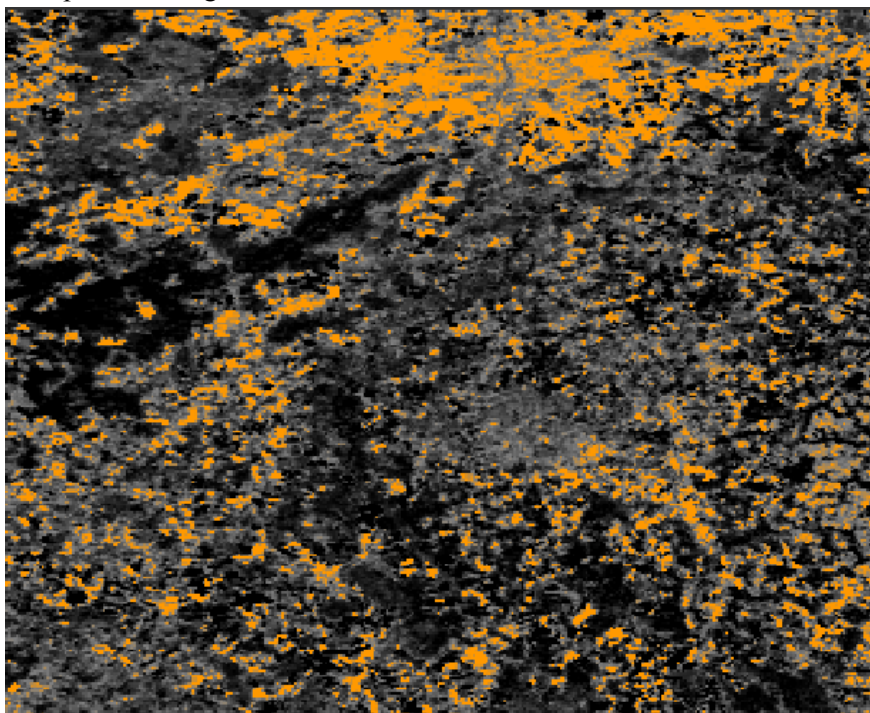
Zemědělská půda s vegetací (trvalé travní porosty)



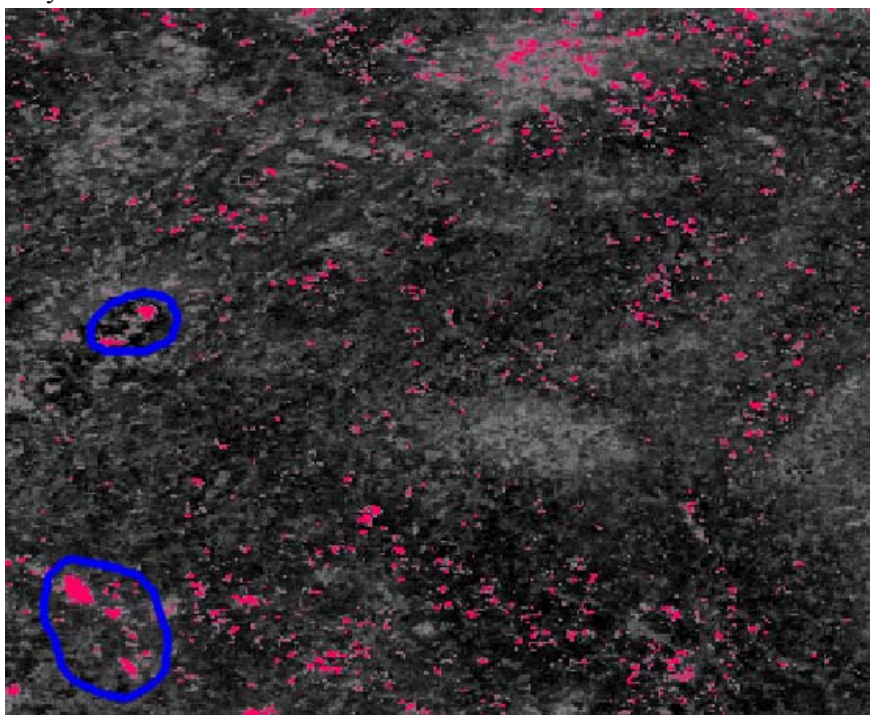
Vodní plochy, zástavba



Orná půda bez vegetace



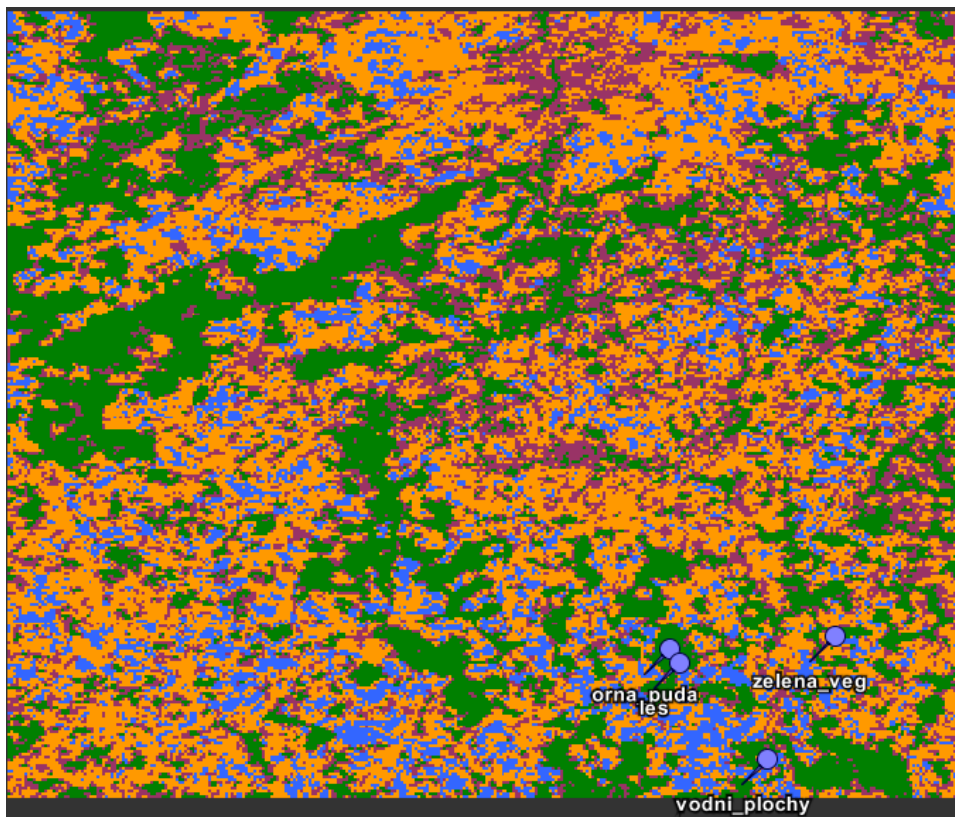
Chyba



Snímky zahrnují území ohraničené severně Prahou, západně Brdskými lesy, východně hranicí kraje Vysočina a jižně lesy u Hluboké nad Vltavou. V modrém kroužku jsou vyznačena místa s oblačností.

PŘÍLOHA 10

Výstup z neřízené klasifikace

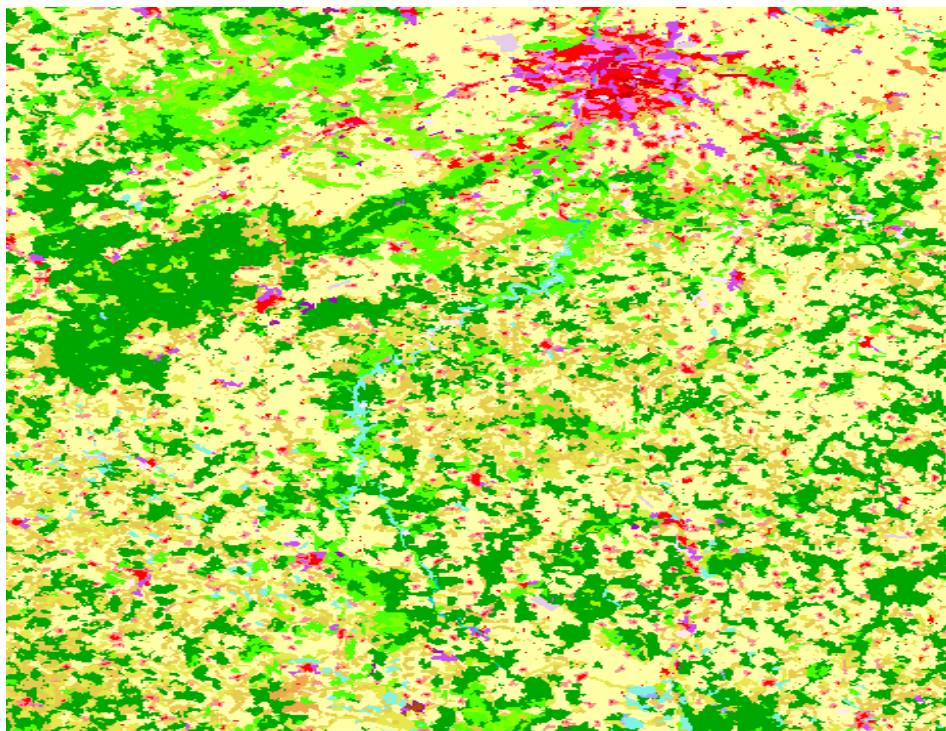


- zelená - lesní porosty, vodní plochy
- modrá - travní porosty či zelená vegetace
- oranžová - orná půda bez vegetace
- fialová - zástavba, orná půda

Snímek zahrnuje území ohraničené severně Prahou, západně Brdskými lesy, východně hranicí kraje Vysočina a jižně lesy u Hluboké nad Vltavou.

PŘÍLOHA 11

Výřez sledovaného území z databáze Corine Land cover



odstíny zelené – lesní porosty

odstíny fialové – městská zástavba

modrá – vodní toky a plochy

světle béžová – nezavlažovaná orná půda

tmavě béžová – zemědělské oblasti s přirozenou vegetací

Výřez zahrnuje území ohraničené severně Prahou, západně Brdskými lesy, východně hranicí kraje Vysočina a jižně lesy u Hluboké nad Vltavou.

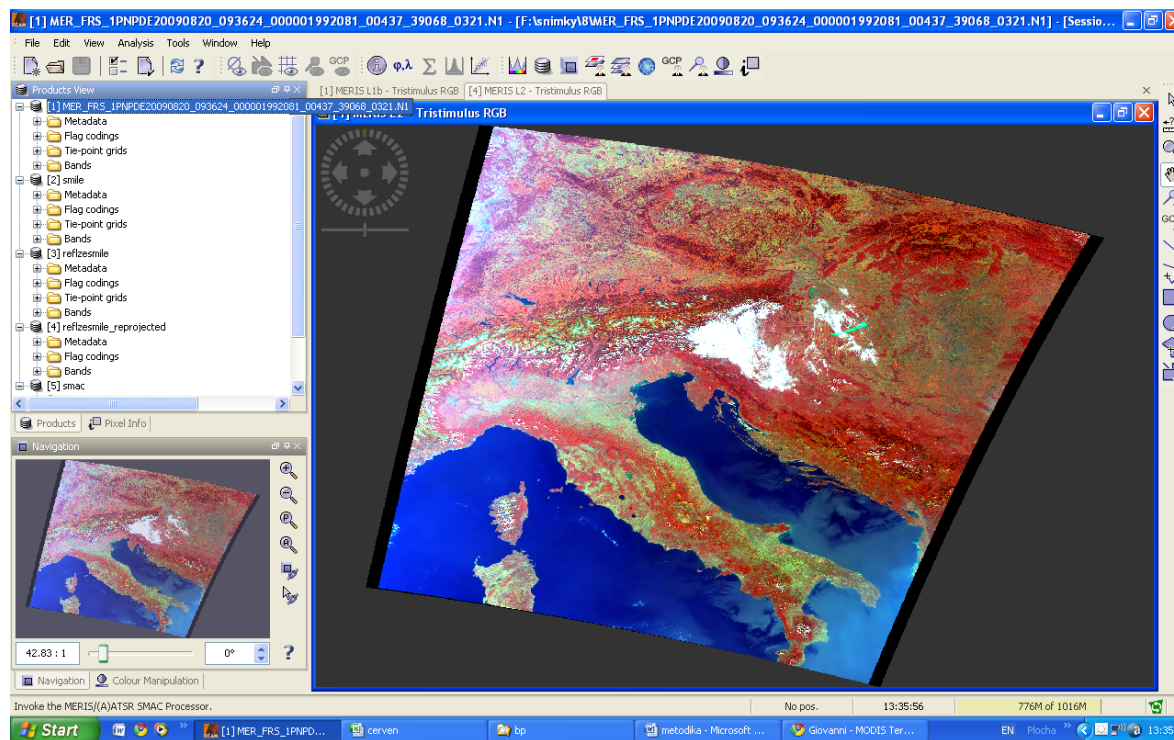
PŘÍLOHA 12

Seznam použitých snímků

Seznam použitých snímků (rok 2009)	
duben	
MER_FRS_1PNPDE20090402_093620_000001992077_00437_37064_9064	
květen	
MER_FRS_1PNPDE20090503_095938_000001852078_00380_37508_9381	
MER_FRS_1PNPDE20090526_093916_000001992079_00208_37837_2406	
červen	
MER_FRS_1PNPDE20090614_094210_000001992079_00480_38109_8746	
červenec	
MER_FRS_1PNPDE20090722_094754_000001992081_00022_38653_8133	
srpen	
MER_FRS_1PNPDE20090820_093624_000001992081_00437_39068_0321	
září	
MER_FRS_1PNPDE20090908_093616_000002112082_00208_39340_5728	
MER_FRS_1PNPDE20090927_093905_000002112082_00480_39612_2251	
listopad	
MER_FRS_1PNPDE20091120_094456_000001992084_00251_40385_5053	

PŘÍLOHA 13

Rozhraní programu BEAM



PŘÍLOHA 14

Tabulka vybraných družic s vysokým časovým rozlišením

Družice s vysokým časovým rozlišením						
Družice (Senzor)	Stát	Počet pásem	Termínové rozlišení	Prostorové rozlišení	Start	Využití
IKONOS	USA	4	3 dny	4 m MS 1 m PAN	24.9.1999	Environmentální studie
Envisat (MERIS)	EU	15	3 dny	300 m MS	1.3.2002	Oceánografické a pobřežní studie
QuickBird	USA	4	1 - 3,5 dne	2,4 m MS 0,6 m PAN	18.10.2001	Land use, zemědělství, lesnictví
Formosat -2	Taiwan	5	1 den	8 m MS 2 m PAN	21.5.2004	Urbanizační studie, mapové aplikace
SPOT 5 (HRG,HRS)	Francie	4	2 - 3 dny	10 m MS 5 m PAN	3.5.2002	Environmentální studie
WorldView-1	USA	1	1,7 dne	0,5 m PAN	18.9.2007	Náhlé disturbance
WorldView-2	USA	8	1,1 dne	1,8 m MS 0,5 m PAN	8.10.2009	Land use, náhlé disturbance
RapidEye	Německo	5	1 den	5 m MS	29.8.2008	Environmentální studie, náhlé disturbance

Zdroj: www.satimagingcorp.com

PAN – panchromatické

MS - multispektrální